

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM DESIGN

Desenvolvimento Colaborativo de
Telhas Fotovoltaicas com RCD

Juliano Henrique Bodão

Curitiba, 2014

Juliano Henrique Bodão

Desenvolvimento Colaborativo de
Telhas Fotovoltaicas com RCD

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design, na linha de pesquisa Design de Sistemas de Produção e Utilização, Setor de Artes, Comunicação e Design da Universidade Federal do Paraná, como requisito para obtenção do título de Mestre em Design.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Vieira Pelegrini

Curitiba, 2014

Catálogo na publicação
Fernanda Emanoéla Nogueira – CRB 9/1607
Biblioteca de Ciências Humanas e Educação - UFPR

Bodão, Juliano Henrique
Desenvolvimento colaborativo de telhas fotovoltaicas com RCD / Juliano
Henrique Bodão – Curitiba, 2014.
190 f.

Orientador: Profº. Drº. Alexandre Vieira Pelegrini
Dissertação (Mestrado em Design) – Setor de Artes, Comunicação e
Design da Universidade Federal do Paraná.

1. Desenho industrial - Desenvolvimento sustentável. 2. Resíduos -
Subprodutos. 3. Design colaborativo. 4. Energia solar - Design de produto.
I. Título.

CDD 745.2

TERMO DE APROVAÇÃO

JULIANO HENRIQUE BODÃO

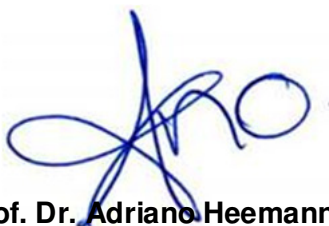
Desenvolvimento Colaborativo de Telhas Fotovoltaicas com RCD

Dissertação de Mestrado aprovada em sua versão definitiva como requisito parcial à obtenção de grau de Mestre em Design, área de concentração em Design Gráfico e de Produto, no Programa de Pós-Graduação em Design do Setor de Artes, Comunicação e Design da Universidade Federal do Paraná.

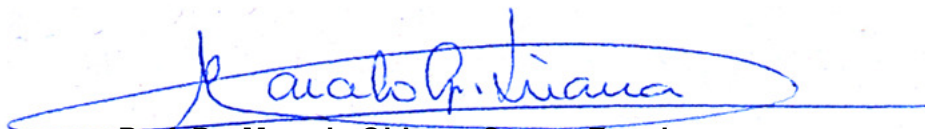
Curitiba, 26 de fevereiro de 2014.



Prof. Dr. Alexandre Vieira Pelegrini
(orientador e presidente da banca - UTFPR)



Prof. Dr. Adriano Heemann
(examinador interno - UFPR)



Prof. Dr. Marcelo Gitirana Gomes Ferreira
(examinador externo - UDESC)

A meu filho Lorenzo, fundamental para minha persistência.

Agradecimentos

Ao Professor Dr. Alexandre Vieira Pelegrini, pela orientação e confiança ao longo desta pesquisa.

Aos Professores membros da Banca, pelas críticas e sugestões.

Ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Paraná e todos que dele fazem parte, em especial, o corpo docente e a coordenação.

Às empresas que colaboraram para o desenvolvimento deste projeto, representadas por seus diretores: Eduardo Sell Dyminski (Soliforte), Hugo Armelin (Tégula), Marco Antonio Areias Secco (SENAI), Paulo Bastos e Alexandre Pelegrini (Solbravo).

Ao SENAI e ao Grupo Uninter, pelo incentivo e oferecimento de dispensa para o desenvolvimento do mestrado e da dissertação.

Ao amigo Dalton Alexandre Kai, pelos conhecimentos compartilhados.

Aos amigos e colegas: Cibele Lemos Freire Viginoski, Eduardo Chela, Edwin Duarte, Harry Rodrigues, Jackson Lopes Pereira, Jasón Holthausen, Marco Tulio Correa De Siqueira, Maria Luiza Loesch, Mariano Pereira, Nelson Ribeiro dos Santos, Odair Ribeiro, Sander Costa, Thainá Haidamacha, Waleska Chagas Sieczkowski Pacheco, que auxiliaram o desenvolvimento de diversas etapas da pesquisa.

À Lorena Paes de Almeida, pelo grande apoio.

Aos meus familiares, especialmente minha mãe, pelo apoio e incentivo.

Ao meu filho Lorenzo, pela melhor companhia nos períodos de descanso e por compreender minha ausência em diversos momentos.

A todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta Dissertação de Mestrado.

*“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu,
mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê”*

Arthur Schopenhauer

BODÃO, Juliano Henrique. Desenvolvimento colaborativo de telhas fotovoltaicas com RCD. Dissertação (Mestrado em Design), Programa de Pós-Graduação em Design, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo investigar e demonstrar a aplicação prática dos conceitos do design colaborativo e do *Life Cycle Design*, no desenvolvimento de telhas geradoras de energia solar fotovoltaica produzidas com resíduos de construção e demolição (RCD) a partir de um grupo formado por quatro empresas colaboradoras. A demanda global por fontes renováveis de energia é preponderante para a escolha da utilização da energia solar, disponível em abundância e ainda pouco explorada para conversão em energia fotovoltaica, especialmente no Brasil. Aprimorar o desenvolvimento de painéis e revestimentos fotovoltaicos e integrá-los às edificações disponibilizará componentes que, além da geração de energia, promoverão outros ganhos, tais como redução de materiais utilizados nas edificações, ganhos em propriedades térmicas para o ambiente interno e viabilidade de explorar variações estéticas e, com a disseminação desta tecnologia, também é possível vislumbrar a redução dos custos para produção, aquisição e instalação destes sistemas. Deste modo, esta pesquisa aplicada foi desenvolvida em cinco ciclos de pesquisa-ação, explorando a integração de células fotovoltaicas no desenvolvimento de um dos elementos mais básicos de uma edificação, a telha, mantendo suas características modulares com o intuito de prover um gerador fotovoltaico passível de ser instalado de modo simplificado em qualquer edificação. Em sua constituição, a areia do concreto é substituída por RCD, com resultados que apresentam-se viáveis para produção em larga escala. Todos os demais componentes priorizam um produto sustentável, com um longo ciclo de vida e que prioriza a manutenção, seu descarte e reutilização.

Palavras-chave: Design sustentável. Design colaborativo. Energia solar fotovoltaica. Resíduos de construção e demolição (RCD).

BODÃO, Juliano Henrique. Collaborative development of photovoltaic tiles with CDW. Thesis (Master in Design), Post-graduate Program in Design, Federal University of Parana, Curitiba, 2014.

Abstract

The present study aims to investigate and demonstrate the practical application of the collaborative design concepts and Life Cycle Design, working with the development of photovoltaic solar generating tiles produced with construction and demolition waste (CDW) from a group formed by four collaborating companies. The global demand for renewable energy sources is leading to the choice of using solar energy, which is available in abundance and still little explored for photovoltaic energy conversion, especially in Brazil. Developing photovoltaic panels and coatings and integrate them into buildings could provide components that, besides the energy generation, promote other gains, such as the reduction of materials used in buildings, gains in thermal properties for the internal environment and feasibility of exploring variations aesthetic and. With the spread of this technology, you can also glimpse the reduction of costs for production, acquisition and installation of those systems. This research was conducted in five cycles of research and action, exploring the integration of photovoltaic cells in the development of one of the most basic elements of a building: tile, keeping their modular characteristics aiming for a feasible photovoltaic generator to be installed in a simplified manner in any building. In its constitution, the sand of the concrete is replaced by CDW, which results in presentable and viable results for large scale production. All other components priorities a sustainable product, with a long lifecycle and maintenance, his disposal and reuse.

Keywords: Sustainable Design. Collaborative Design. Solar Photovoltaics. Construction and demolition waste (CDW) .

Lista de figuras

Figura 1 - Evolução das representações da abordagem de desenvolvimento sustentável.	31
Figura 2 - Estratégias de Life Cycle Design e fases do ciclo de vida.	33
Figura 3 – Responsabilidade compartilhada no ciclo de vida dos produtos	35
Figura 4 - Perfil da cadeia produtiva da construção e da Indústria de materiais.....	40
Figura 5 - Gerald Pearson, Daryl Chapin, Calvin Fuller e a sua primeira célula solar, desenvolvida nos laboratórios da Bell Telephone C. em 1954.....	43
Figura 6 - A primeira aplicação de uma célula solar de silício foi como fonte de alimentação de uma rede telefônica local em Americus, na Geórgia, Estados Unidos da América, em 1955.	44
Figura 7 - Satélite Vanguard I (NASA < http://nssdc.gsfc.nasa.gov/image/spacecraft/vanguard1.jpg >. Acesso em: 17/03/2013)	44
Figura 8 - Exemplo de ligação de um sistema conectado à rede. 1) Ligação entre os geradores PV e o inversor; 2) Ligação que envia energia PV para a rede elétrica pública; 3) Inversor; 4) Medidor de energia elétrica da rede pública.	46
Figura 9 - Módulos solares fotovoltaicos de c-Si.	49
Figura 10 – Módulo com células fotovoltaicas de m-Si (Portal Energia. < http://www.portal-energia.com/principais-tipos-de-celulas-fotovoltaicas-constituintes-de-paineis-solares/ >. Acesso em: 17/03/2013).....	50
Figura 11 - Módulo com células fotovoltaicas de p-Si (Green Options < http://www.greenoptions.com/t/1567/breakthrough-reported-on-low-cost-alternative-to-silicon-solar-cells >. Acesso em 17/03/2013)	51
Figura 12 – Módulo com células fotovoltaicas de a-Si (BlueSol Educacional< http://www.blue-sol.com/energia-solar/energia-solar-como-funciona-tipos-de-celulas-fotovoltaicas/ >. Acesso em 17/03/2013).....	52
Figura 13 – Filme fotovoltaico flexível de a-Si (NASA < http://sbir.gsfc.nasa.gov/SBIR/successes/ss/206text.html >. Acesso em 17/03/2013)	52

Figura 14 – Filme fotovoltaico flexível de CdTe (The Engineering Economist < http://engineeringeconomist.blogspot.com.br/2011/06/efficiency-record-for-flexible-cdte.html >. Acesso em 17/03/2013)	53
Figura 15 – Filme fotovoltaico CIGS (BlueSol Educacional < http://www.bluesol.com/energia-solar/energia-solar-como-funciona-tipos-de-celulas-fotovoltaicas/ >. Acesso em 17/03/2013)	54
Figura 16 – Esquematização das principais etapas do processo de manufatura dos módulos/painéis fotovoltaicos e indicação de normas técnicas relevantes para o controle de qualidade.	55
Figura 17- Telha fotovoltaica modelo plan Solbravo.	56
Figura 18 – BIPV com vidro fotovoltaico modular	57
Figura 19 - Cobertura em vidro com células solares espaçadas para permitir a passagem de luz	59
Figura 20 – Edifício da ThyssenKrupp em Duisburg com a células fotovoltaicas integradas em sua fachada.....	59
Figura 21 – Exame de sistemas de planejamento e controle (a) / Níveis de abrangência da gestão do design (b).	65
Figura 22 – Os cinco FCS para a colaboração no design.	67
Figura 23 – FCS permeando o design colaborativo em todas as suas dimensões.	68
Figura 24 – O ciclo e as fases da pesquisa-ação.....	73
Figura 25 – Ciclo de melhoria aplicado a cada uma das fases do ciclo de pesquisa-ação	74
Figura 26 – Elenco de atores do grupo de colaboração.....	75
Figura 27 – Fases do desenvolvimento da pesquisa	79
Figura 28 – Primeiro ciclo de pesquisa	84
Figura 29 – Telhas de concreto comercializadas pela Tégula	85
Figura 30 – Células de silício policristalino fornecidas pela Solbravo	87
Figura 31 – Areia proveniente de RCD triturados	88
Figura 32– Segundo ciclo de pesquisa	89
Figura 33 – Granulometria utilizando peneiras de 2,36mm, 425µm e 75µm.....	90
Figura 34 – Materias separados por traço para a constituição dos corpos de prova	91

Figura 35 – Prensa Elétrica Automática utilizada para os ensaios e um corpo de prova sendo prensado.....	94
Figura 36 – Corpos de prova após os ensaios e detalhe de um dos corpos produzidos com RCD	94
Figura 37 – Terceiro ciclo de pesquisa	96
Figura 38 – Quarto ciclo de pesquisa	101
Figura 39 – Processo de usinagem da telha de concreto em fresadora universal.....	102
Figura 40 – Processo de usinagem da telha de concreto com disco de corte	103
Figura 41 – Telhas usinadas	103
Figura 42 - Esquema de encadeamento em série.....	104
Figura 43 – Processo de soldagem dos Tabs para o encadeamento das células	105
Figura 44 – Encapsulamento das células com EVA	105
Figura 45 – Módulo fotovoltaico recoberto por policarbonato e com as células em seu interior.....	106
Figura 46 – Dutos de ventilação na parte posterior do módulo fotovoltaico	107
Figura 47 – Processo de usinagem das bases em alumínio	108
Figura 48 – Protótipo completo da telha fotovoltaica.....	108
Figura 49 – Quinto ciclo de pesquisa	110
Figura 50 – Potenciômetro com resistência de $1K\Omega$	112
Figura 51 – Equipamentos utilizados para as medições. Multímetros, radiômetro e termômetro.....	113
Figura 52 – Medições dos protótipos voltados ao norte, com inclinação de $26^{\circ}34''$ ao meio-dia.	113
Figura 53 – Testes de eficiência. Na sequência, protótipos 1, 2, 3, 4 e telha modelo Plan da Solbravo.....	115

Lista de tabelas

Tabela 1 – Traço dosado para os experimentos com os corpos de prova referenciais .	91
Tabela 2 – Traços dosados para os experimentos com os corpos de prova com RCD...	91
Tabela 3 – Primeiro ensaio comparativo	120
Tabela 4 – Segundo ensaio comparativo	120
Tabela 5 – Terceiro ensaio comparativo	120
Tabela 6 – Quarto ensaio comparativo.....	121
Tabela 7 – Quinto ensaio comparativo	121
Tabela 8 – Sexto ensaio comparativo	121
Tabela 9 – Sétimo ensaio comparativo	122
Tabela 10 – Oitavo ensaio comparativo	122
Tabela 11 – Medições ao meio-dia – Norte	126
Tabela 12 – Medições ao meio-dia – Oeste	126
Tabela 13 – Medições ao meio-dia – Sul	126
Tabela 14 – Medições ao meio-dia – Leste	127
Tabela 15 – Medições pela manhã – Norte	127
Tabela 16 – Medições pela manhã – Oeste	127
Tabela 17 – Medições pela manhã – Sul.....	128
Tabela 18 – Medições pela manhã – Leste	128
Tabela 19 – Medições pela tarde – Norte.....	128
Tabela 20 – Medições pela tarde – Oeste.....	129
Tabela 21 – Medições pela tarde – Sul	129
Tabela 22 – Medições pela tarde – Leste.....	129

Lista de quadros

Quadro 1 - Cadeia de valor do design nas organizações: os 3 níveis da Gestão do Design.....	64
Quadro 2 - Critérios para validação da Pesquisa-Ação (MELLO et al., 2010).....	81
Quadro 3 - Protocolo de pesquisa	82
Quadro 4 – Traço padrão (T1a e T1b)	92
Quadro 5 – Traço modificado (T2)	92
Quadro 6 – Traço modificado (T3)	92
Quadro 7 – Traço modificado (T4)	93
Quadro 8 – Traço modificado (T5)	93
Quadro 9 - Resultados preliminares dos parâmetros de Design Sustentável - Conforme Manzini & Vezzoli (2008)	132
Quadro 10 – Estimativa de custo da telha fotovoltaica	161

Lista de gráficos

Gráfico 1 - Número de empregos formais na construção civil.....	42
Gráfico 2 – Resultados do ensaio de compressão axial	118
Gráfico 3 – Potência solar média durante os ensaios comparativos entre protótipos e a telha Plan Solbravo	122
Gráfico 4 – Potência solar média durante as medições.....	130
Gráfico 5 – Potência fotovoltaica média durante os três períodos de ensaio	130
Gráfico 6 – Eficiência energética média na conversão da irradiação pelo efeito fotovoltaico durante os três períodos de ensaio	130
Gráfico 7 – Potência fotovoltaica média alcançada pelos protótipos e a telha Plan Solbravo durante os ensaios comparativos	123
Gráfico 8 – Temperatura média coletada nas superfícies dos módulos e das telhas durante os ensaios comparativos	123
Gráfico 9 – Eficiência energética média na conversão da irradiação pelo efeito fotovoltaico durante os ensaios comparativos	124

Abreviaturas, siglas, acrônimos e símbolos

A	- Ampère
ABRAMAT	- Associação Brasileira da Indústria de Materiais de Construção
ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica
a-Si	- Silício amorfo
a-Si:H	- Silício amorfo hidrogenado
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
BIPV	- Building Integrated Photovoltaics (Edifícios solares fotovoltaicos)
C	- Celsius
c-Si	- Silício cristalino
CAM	- Manufacture Aided Computer (Manufatura auxiliada por computador)
CA	- Corrente alternada
CC	- Corrente contínua
CdTe	- Telureto de cádmio
CIC	- Cidade Industrial de Curitiba
CIGS	- Compostos de disseleneto de cobre, gálio e índio ($\text{Cu}(\text{InGa})\text{Se}_2$)
CIS	- Compostos baseados no disseleneto de cobre e índio (CuInSe_2)
CNC	- Computer Numeric Control (Controle numérico computadorizado)
CNI	- Confederação Nacional da Indústria
CNM	- Confederação Nacional dos Municípios
CNPq	- Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CONAMA	- Conselho Nacional do Meio Ambiente
CuInSe_2	- Disseleneto de cobre e índio
$\text{Cu}(\text{InGa})\text{Se}_2$	- Disseleneto de cobre, gálio e índio
EVA	- Etil Vinil Acetato
FGV	- Fundação Getúlio Vargas
Fire Wire	- Fita estanhada para ligação elétrica em módulos fotovoltaicos
FCS	- Fatores Críticos de Sucesso
g	- grama
GD	- Gestão do Design
GJ	- Gigajoule

GW	- Giga-watt
IEL	- Instituto Evaldo Lodi
INTEC	- Incubadora de base tecnológica do Paraná
INPI	- Instituto Nacional da Propriedade Industrial
KW	- Quilowatt
KWh	- Quilowatt-hora
LCD	- <i>Life Cycle Design</i> (Ciclo de vida do produto)
LEED	- <i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
m-Si	- Silício monocristalino
mm	- Milímetro
Mpa	- Mega Pascal
mW	- milliwatt
NBR	- norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas
P	- Protótipo
p-Si	- Silício policristalino
PGRS	- Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos
PMGIRS	- Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PDCA	- Plan-do-check-act
PDP	- Processo de Desenvolvimento de Produtos
PV	- Photovoltaic (Fotovoltaico ou fotoelétrico)
PVA	- Acetato de polivinila
PVC	- Policloreto de vinila
RCD	- Resíduos de construção e demolição
SENAI	- Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SESI	- Serviço Social da Indústria
SGE	- Silício de grau eletrônico
SGS	- Silício de grau solar
SNVS	- Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
SISNAMA	- Sistema Nacional do Meio Ambiente
STC	- Standard Test Conditions
SUASA	- Sistema Único de Atenção à Sanidade Agropecuária
T	- Traço

Tab Wire	- Fio estanhado para captação da corrente elétrica em células fotovoltaicas
TECPAR	- Instituto de tecnologia do Paraná
U.V.	- Ultravioleta
V	- Volt
W	- Watt
Wp	- Watt-pico
WWF	- World Wildlife Fund
W/m ²	- Watt por metro quadrado
°	- Graus
'	- Minutos
"	- Segundos
°C	- Graus Celsius
Ω	- Ohms
μm	- Microns
Ø	- Bitola

Sumário

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	21
1.1 Contexto da pesquisa	21
1.2 Pergunta de Pesquisa	24
1.3 Objetivos.....	25
1.3.1 Objetivo geral.....	25
1.3.2 Objetivos Específicos.....	25
1.4 Justificativa	25
1.5 Delimitação do escopo da pesquisa	27
1.6 Resultados esperados.....	28
1.7 Estrutura prevista da dissertação.....	28
CAPÍTULO 2 REVISÃO DA LITERATURA.....	30
2.1 Design Sustentável.....	30
2.2 Reciclagem e reuso dos resíduos sólidos na construção civil.....	34
2.2.1 Legislação vigente	35
2.2.2 Resíduos de Construção e Demolição - RCD	37
Classificação dos resíduos.....	38
2.2.3 Abordagem econômica	40
2.2.4 Abordagem social	41
2.3 Energia solar fotovoltaica.....	42
2.3.1 Princípio físico básico – O efeito fotoelétrico	47
2.4 Tecnologias e sistemas fotovoltaicos.....	49
2.4.1 Células de silício cristalino	49
2.4.2 Células de silício monocristalino	49
2.4.3 Células de silício policristalino	50
2.4.4 Células de silício amorfo	51
2.4.5 Células de telureto de cádmio	53
2.4.6 Células CIS e CIGS.....	54
2.5 Células e painéis fotovoltaicos modulares	54
2.5.1 Telhas fotovoltaicas	56
2.5.2 Vidro fotovoltaico	56
Benefícios dos sistemas fotovoltaicos integrados nas edificações (BIPV)	57
2.6 Building Integrated Photovoltaics – BIPV	58

2.7 Design, desenvolvimento e produção em redes de colaboração	60
2.8 Considerações a respeito da literatura	69
CAPÍTULO 3 MÉTODO DE PESQUISA	70
3.1 Caracterização da abordagem da pesquisa	70
3.2 Métodos e procedimentos	71
3.2.1 Pesquisa-Ação	71
3.2.2 Definição dos Atores Participantes na Pesquisa	74
SENAI.....	75
Solbravo	77
Soliforte	77
Tégula	78
3.2.3 Etapas da Pesquisa.....	79
3.3 Análise	80
3.4 Validação dos resultados.....	80
3.5 Protocolo de pesquisa	82
CAPÍTULO 4 CICLOS DA PESQUISA-AÇÃO	83
4.1 Primeiro Ciclo – Estruturação do projeto do produto.....	83
4.1.1 Seleção do componente construtivo	84
4.1.2 Seleção do tipo de célula fotovoltaica	86
4.1.3 Seleção da origem do RCD	87
4.1.4 Análise do processo colaborativo no primeiro ciclo	88
4.2 Segundo Ciclo – Concreto a partir de RCD.....	89
4.2.1 Análise do processo colaborativo no segundo ciclo	95
4.3 Terceiro Ciclo – União entre células fotovoltaicas e telha	96
4.3.1 Características da telha.....	96
4.3.2 Aplicação das células	97
4.3.3 União entre o módulo solar e a telha	99
4.3.4 Análise do processo colaborativo no terceiro ciclo	100
4.4 Quarto Ciclo - Protótipos.....	101
4.4.1 Construção do protótipo da telha.....	101
4.4.2 Construção do protótipo do módulo fotovoltaico	104
4.4.3 Análise do processo colaborativo no quarto ciclo	109
4.5 Quinto Ciclo – Eficiência energética.....	110
4.5.1 Primeiro ensaio	114
4.5.2 Segundo ensaio.....	115
4.5.3 Análise do processo colaborativo	116

CAPÍTULO 5 RESULTADOS E DISCUÇÃO.....	117
5.1 Análise e resultados do desempenho mecânico dos ensaios com RCD.....	117
5.2 Análise e resultados da união entre células fotovoltaicas e telha	118
5.3 Análise e resultados da eficiência energética.....	119
5.3.1 Primeiro ensaio	120
5.3.2 Segundo ensaio	125
5.4 Análise Preliminar dos Parâmetros de Design Sustentável.....	131
5.5 Visão geral do processo de colaboração realizado	133
CAPÍTULO 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	135
6.1 Considerações sobre os resultados atingidos.....	135
6.2 Recomendações para futuras pesquisas	137
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	139
APÊNDICES	148
Apêndice A	
Perfis e conjuntos de ferramentas para a extrusão das telhas Tégula Plana e da telha fotovoltaica	149
Apêndice B	
Características determinantes para a produção de telhas a partir de RCD	151
Apêndice C	
Programação para usinagem da base do módulo fotovoltaico em CNC	153
Apêndice D	
Estimativas de custo para implantação de um sistema baseado nas telhas fotovoltaicas	160
Apêndice E	
Possíveis desdobramentos da colaboração	164
Apêndice F	
Custos do projeto.....	174
ANEXOS	176
ATA DE DEFESA	191

Capítulo 1 | Introdução

1.1 Contexto da pesquisa

De acordo com Peng et al. (2011), a crescente demanda por energia e a preocupação global pela utilização de fontes renováveis estão oportunizando o desenvolvimento de novas tecnologias para a geração de energia. Estudos projetam que a demanda global por energia deverá triplicar até 2030 (EIA, 2009). Atualmente o Brasil ocupa a 11ª posição no mercado mundial de consumo de energia (em suas diversas variantes). Estudos indicam que em 2030 o país será o 7º maior mercado de energia do mundo. Dados recentes indicam que o consumo anual per/capta de energia no país já supera 50 GJ/hab. Para os próximos vinte anos, projeta-se um crescimento na demanda energética de 3,3% (considerando todas as fontes de energia) e uma média de crescimento anual do consumo de energia elétrica de aproximadamente 4,4% (ERNST & YOUNG e FGV, 2010). No contexto global, estima-se que o consumo de energia elétrica em edificações varia entre 20% a 40% da demanda total (PÉREZ-LOMBARD et al., 2008; EIA, 2009; BODON et al., 2013).

É importante observar que as implicações do aumento significativo no consumo de energia terão consequências drásticas para a sociedade e o meio ambiente. Considerando este cenário, a instalação de painéis fotovoltaicos nas fachadas e telhados de edifícios vem demonstrando ser uma alternativa potencial para a geração de energia limpa e renovável (RÜTHER, 2004; GELE et al., 2012; BODON et al., 2013). Dentro do campo dos sistemas e tecnologias de energia solar, a integração de componentes fotovoltaicos integrados diretamente como elementos construtivos nas edificações é conhecido pelo termo (em inglês) Building Integration Photovoltaics (BIPV). Os sistemas BIPV são incorporados como elementos de revestimento de fachadas ou telhados, proporcionando um estilo *high-tech* e eco-sustentável ao edifício onde é instalado (RÜTHER, 2004; GTM RESEARCH, 2010; BODON et al., 2013). Além disso, os BIPV são considerados como uma parte funcional da estrutura da edificação, sendo arquitetonicamente integrado no design do edifício (GELE et al., 2012). Estima-se que em 2015, somente o mercado norte-americano de BIPV deverá movimentar cerca de US\$ 8 bilhões (GIM RESEARCH, 2010).

Atualmente, a maioria dos produtos fotovoltaicos disponíveis no mercado são passíveis de integração a uma edificação, sejam por suas características modulares ou por meio de projetos personalizados, adaptando praticamente toda a gama de componentes fotovoltaicos (SCHOEN, 2001). Em projetos personalizados de grandes edificações, vidros fotovoltaicos e painéis solares costumam ser utilizados como material de revestimento de fachadas ventiladas, substituindo painéis constituídos dos mais variados materiais como: alumínio, aço inoxidável, madeira, polímeros, vidro, placas de base cimentícia ou de cerâmica, dentre outros (JELLE et al., 2012).

Telhas são reconhecidamente componente modulares e os modelos fotovoltaicos, disponíveis no mercado, seguem os padrões já existente e em poucos casos possuem novo formato e padrão de instalação diferenciado, no entanto, ainda são passíveis de aplicação sem grandes complicações, adaptando-se à qualquer tipo de estrutura (FREITAS et al., 2012). Para a produção de uma telha convencional é necessária a utilização de um único material para sua composição, dentre os usuais, destacam-se os modelos produzidos com cerâmica e concreto. As telhas fotovoltaicas utilizam estes

mesmos materiais como base e em algumas variações, são produzidas também com bases de vidro, metal e compósitos a base de fibras e resinas (FERNANDES, 2012; FREITAS et al., 2012).

Pesquisas de novos materiais vêm sendo realizadas com o intuito de aumentar a eficiência e o desempenho das edificações. As razões que motivam pesquisas utilizando resíduos como matéria-prima no desenvolvimento de novos materiais para a construção são: esgotamento das matérias-primas não renováveis, redução do consumo de energia, diminuição da emissão de poluentes, redução de custos, melhoria na saúde e segurança da população (CHEMISANA, 2010; PATRICIO et al., 2013).

Este trabalho explora oportunidades dentro da construção civil, para a aplicação de elementos construtivos com células fotovoltaicas agregadas em sua estrutura, aplicando soluções integrativas para o desenvolvimento de um produto fotovoltaico substitutivo a um elemento construtivo usual.

Um dos objetivos para a concepção deste produto é a utilização de Resíduos de Construção e Demolição (RCD), um material ainda pouco valorizado, mas que já começa a apresentar suas vantagens, especialmente considerando o fato de se gerar novos ciclos de vida para os materiais, constituindo práticas sustentáveis (FREIRE et al., 2013).

O desenvolvimento do projeto ocorrerá a partir da colaboração de um grupo de atores que compartilham conhecimentos, práticas e experiências para um resultado comum (LIMA & HEEMANN, 2009). Cada um dos atores envolvidos agrega expertises que são diversas aos demais integrantes do grupo, porém, fundamentais nas variadas fases do desenvolvimento e para a uma possível produção.

A abordagem colaborativa no desenvolvimento sustentável permite a integração de informações e competências necessárias para que se alcance o nível de consumo suficiente através de soluções inovadoras necessárias para sobrepor as complexidades deste processo (FONTANA et al., 2012-a).

A aplicação de células fotovoltaicas possibilitará que o componente construtivo produza energia elétrica e, considerando as expectativas para este tipo de energia, espera-se que no futuro esteja ainda mais presente no cotidiano dos brasileiros, como já ocorre em outros países, principalmente europeus e nos Estados Unidos (KANN, 2010). O governo brasileiro aponta para esta direção, mesmo que ainda não propicie subsídios para este tipo de geração ou para os equipamentos utilizados nestes sistemas, desde 2012 quando entrou em vigor uma resolução da ANEEL que possibilita a produção autônoma, dispensando a energia gerada na rede pública e a sua conversão em créditos (ANEEL, 2012). É um avanço ao que se espera para o futuro quando outras ações possam encaminhar nossa sociedade a implementar práticas sustentáveis.

1.2 Pergunta de Pesquisa

Considerando o grande potencial energético gerado pela incidência solar no Brasil, bem como a possibilidade de unir um gerador fotovoltaico a elementos construtivos que se integrem às edificações, as quais também geram muito resíduos passíveis de reaproveitamento em novas edificações ou mesmo produtos para a construção civil, firmou-se uma perspectiva, que por meio do design, especialmente nas áreas de estudos de colaboração e de sustentabilidade, seria possível contribuir para o processo de design, inovação e desenvolvimento de produtos sustentáveis, que reflitam novas possibilidades para a indústria e benefícios para a sociedade.

A partir destas considerações, definiu-se a seguinte pergunta de pesquisa: Como desenvolver, por intermédio da abordagem do design colaborativo, um componente construtivo fotovoltaico que se integre às edificações, fazendo uso de resíduos de construção e demolição (RCD)?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Demonstrar de forma experimental o processo de desenvolvimento de um componentes construtivo fotovoltaico a partir de resíduos de construção e demolição, com a colaboração de diversas empresas.

1.3.2 Objetivos Específicos

- a. Estruturar um grupo colaboração com empresas que compartilhem informações e reúnem conhecimentos necessários que possibilitem o desenvolvimento de um componente construtivo fotovoltaico;
- b. Desenvolver um componente construtivo fotovoltaico substitutivo a um componente usual na construção civil;
- c. Identificar as possibilidades de se utilizar o RCD para a produção de um componente construtivo atendendo às normativas e requisitos inerentes ao componente selecionado;

1.4 Justificativa

A energia solar que atinge a superfície da Terra corresponde, aproximadamente, a dez mil vezes à procura global por energia. Para satisfazer a procura energética total da humanidade seria necessário apenas 0,01% do que está disponível (GREENPRO, 2010).

Existem áreas do globo terrestre onde a irradiação solar é muito superior a outras, além de outros elementos que influenciam a disponibilidade para a captação nos períodos de verão e inverno e condições climáticas. Contudo não trata-se de um fator

de inviabilidade, apenas de adequação aos sistemas que deverão ser implantados (KANN, 2010).

A demanda global por fontes renováveis de energia é preponderante para a escolha da utilização da irradiação solar, especialmente a energia solar fotovoltaica, que apesar do elevado custo de aplicação, obtém-se o retorno do investimento em poucos anos, além da expectativa de que o Brasil, a exemplo de outros países, passe a contar com maiores incentivos para a geração de energia fotovoltaica, e subsídios para o desenvolvimento, produção e instalação dos equipamentos necessários (GALDINO, 2012).

Aprimorar o desenvolvimento de painéis e revestimentos fotovoltaicos e integrá-los às edificações disponibilizará componentes que, além da geração de energia, promoverão outros ganhos, tais como redução de materiais utilizados nas edificações, ganhos em propriedades térmicas para o ambiente interno e viabilidade de explorar variações estéticas (CHOW et al., 2003). Com a disseminação desta tecnologia também é possível vislumbrar a redução dos custos para produção, aquisição e instalação destes sistemas (ERNST & YOUNG e FGV, 2010).

A utilização de Resíduos da Construção e Demolição em um produto economicamente viável busca também atender a legislação vigente (BRASIL, 2010) que determina o gerenciamento adequado de resíduos e determina a responsabilidade pelos geradores focando principalmente a engenharia reversa, que deve propiciar a reutilização dos resíduos. Atende também aos anseios da sociedade por ações sustentáveis que propiciem novos ciclos de vida à matéria descartada, e pode abrir perspectiva para o desenvolvimentos de vários outros produtos, diminuindo o impacto ambiental e econômico das atividade extrativistas e produtivas, demandadas pelas necessidades da atual sociedade (CABRAL & MOREIRA, 2011).

O desenvolvimento a partir da colaboração de diversos atores, permite a união de conhecimentos, informações e esforços que geram soluções para o desenvolvimento de produtos, a partir de materiais tradicionais, diferenciados ou ainda pouco utilizados

e explorados, aliando soluções para a integração de tecnologias, proporcionando múltiplas funções para um mesmo produto, reduzindo o consumo de materiais e prolongando o ciclo de vida do produto focando o Design sustentável (FATHIANATHAM & PANCHAL, 2009; HEEMANN et al., 2008-a; MANZINI & VEZZOLI, 2008).

1.5 Delimitação do escopo da pesquisa

O presente projeto de pesquisa pretende desenvolver, a partir da colaboração de um grupo de empresas, um componente construtivo gerador de energia fotovoltaica, que se integre à edificações e que em sua constituição possua resíduos de construção e demolição.

Para atingir este objetivo, pretende-se inicialmente formar um grupo de empresas distintas, que reúnam os conhecimentos necessários para a concepção e desenvolvimento do produto que será focado em componentes de revestimento externo para edificações, considerando que para gerar energia fotovoltaica necessariamente deverá receber a incidência da luz solar. Sua estrutura, deverá ser produzida a partir de RCD, sofrendo variações de acordo com a composição e a proporção dos resíduos e os demais componentes que constituem a argamassa. A estrutura, produzida em RCD, deverá reservar uma área para a introdução de uma ou mais células fotovoltaicas.

O grupo colaborativo selecionado, atuará compartilhando informações em sua área de especialização, descritas no capítulo 3, e alguns participantes poderão estar ausentes em algumas etapas do projeto em consonância com suas expertises, contudo, todas as definições e decisões sobre projeto deverão ser compartilhadas por todos os envolvidos, independente do grau de participação.

1.6 Resultados esperados

Viabilizar a produção de componentes construtivos a partir de RCD agregando em sua estrutura células solares a fim de constituir um material gerador de energia fotovoltaica.

- Definição do componente construtivo gerador de energia fotovoltaica;
- Constituir um grupo colaborativo que efetivamente compartilhe conhecimento e atue para o desenvolvimento e a possível produção o componente;
- Desenvolvimento de um agregado constituído por RCD, adequado para a produção do componente;
- Produzir o protótipo do componente construtivo gerador de energia fotovoltaica e efetuar testes de eficiência;
- Contribuir com informações para o campo do design sobre a aplicação dos conceitos de design sustentável e de design colaborativo e seus resultados práticos.

1.7 Estrutura prevista da dissertação

O propósito deste projeto está organizado do seguinte modo:

- Capítulo 1 (Introdução): Apresenta o contexto ao qual a pesquisa se insere, seus objetivos e justificativas;
- Capítulo 2 (Revisão da Literatura): Abordará os estudos que possuem relação mais próxima com os objetivos desta pesquisa, com foco em resíduos da construção e demolição, energia fotovoltaica, design colaborativo e sustentabilidade;

- Capítulo 3 (Método de Pesquisa): Detalhará a metodologia aplicada para o desenvolvimento, com foco na Pesquisa-ação para se atingir os objetivos pretendidos;
- Capítulo 4 (Ciclos da Pesquisa-Ação): Apresenta o desenvolvimento de todos os ciclos da pesquisa-ação e inclui uma análise do processo de colaboração;
- Capítulo 5 (Resultados e Discussões): Neste capítulo serão apresentados todos os resultados da pesquisa e sua confrontação com o processo de colaboração e com a literatura pesquisada;
- Capítulo 6 (Considerações Finais): Encerra-se a pesquisa apresentando as conclusões do estudo e sugestões para continuidade da pesquisa considerando os diferenciais abordados neste estudo.

Capítulo 2 | Revisão da literatura

Este capítulo aborda os estudos que possuem relação com os objetivos desta pesquisa, com foco em design sustentável, resíduos da construção e demolição, energia fotovoltaica, edifícios solares fotovoltaicos e o design colaborativo, formando o referencial teórico desta pesquisa.

2.1 Design Sustentável

A sustentabilidade é um tema de caráter multidisciplinar associado a três objetivos: a responsabilidade ambiental, a responsabilidade social e a geração de valor econômico. O seu propósito é a preservação dos mais variados recursos existentes no planeta para que haja continuidade deste para a geração atual e para as que ainda virão, englobando esta ideia às esferas social, ambiental e econômica (MAGNAGO et al., 2012).

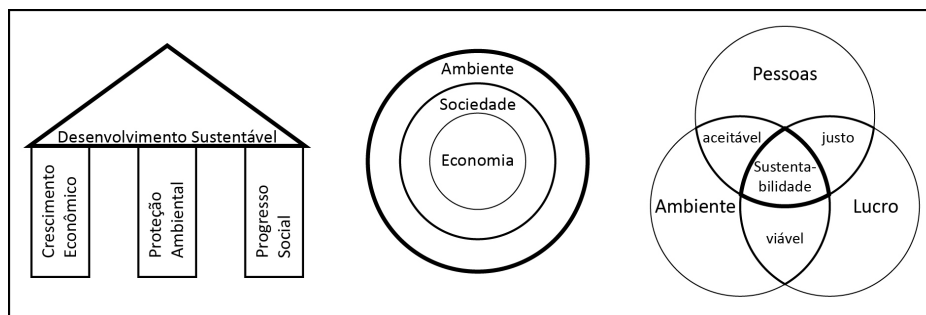


Figura 1 - Evolução das representações da abordagem de desenvolvimento sustentável.

Fonte: Magnago et al. (2012)

Alencar et al. (2012) destacam que a sustentabilidade social precede às outras, pois permitirá que seja evitado um colapso social, pois o desenvolvimento humano, ao ocorrer de modo coerente e consciente, poderá evitar maiores catástrofes no mundo em que vivemos, pois se pensará melhor na exploração da natureza para a fabricação de produtos, visto que não se visará apenas o lucro, mas também o bem-estar das pessoas.

Para a construção de uma sociedade mais sustentável, o tema sustentabilidade deve transitar pelas mais diversas áreas do saber, propondo a aplicação na sociedade atual da visão totalizadora e não mais compartimentada. O Design posiciona-se como alternativa possível para a transversalidade entre várias áreas do conhecimento, e hoje é indispensável considerar a sustentabilidade, sendo de extrema importância aplicar seus conceitos como requisitos do projeto e tornar possível a difusão de uma mudança de atitude das nações, instituições, empresas e indivíduos, imprescindíveis para garantir a permanência humana (ALENCAR et al., 2012).

Os designers, como transformadores da sociedade, visto que seus projetos afetam o modo de vida dos consumidores, tem a oportunidade de criar novas propostas sociais e influenciar atitudes. O seu poder de conscientização social se materializa ao acreditar que para atender às necessidades humanas não é necessário prejudicar o meio ambiente. (...) Os designers devem crer nas práticas multidisciplinares do ofício, como forma de melhorar o mundo (ALENCAR et al., 2012).

Manzini & Vezzoli (2008 p. 52) destacam a desmaterialização dos produtos como uma mudança no papel do produtor e na própria ideia do produto, que visa oferecer

produtos e serviços que correspondam à expectativa de bem-estar usando o mínimo possível de recursos ambientais.

Isto pode ocorrer nas mais diversas áreas. Onde se esperam resultados materializados, que os produtos sejam cada vez menores, leves e duráveis (ALENCAR et al., 2012). Onde há demanda por resultados de ordem cultural, educativa e recreativa, responde-se com produtos quase imateriais, isto é possível veiculando grande quantidade de conteúdo e informações utilizando quantidade reduzida de matéria e energia, como por exemplo, a internet, cd's e dvd's, dispositivos de armazenamento, etc. (MANZINI & VEZZOLI, 2008).

O conceito de desmaterialização deve se integrar a um sistema produtivo que, para que possa ser considerado ambientalmente sustentável, deve mensurar a quantidade de recursos utilizados de forma restrita ao tamanho e a qualidade para que não excedam ou esgotem as fontes de matéria-prima e energia, especialmente aquelas provenientes de recursos naturais (MANZINI & VEZZOLI, 2008).

Milaré (2005) apud Alencar et al. (2012)¹ apresenta nove princípios a serem considerados para o desenvolvimento sustentável e que podem permear a concepção de novos produtos:

- I) Respeitar e cuidar da comunidade dos seres vivos;
- II) Melhorar a qualidade de vida humana;
- III) Conservar a vitalidade e diversidade da vida humana;
- IV) Minimizar o esgotamento de recursos não renováveis;
- V) Permanecer nos limites da capacidade de suporte do planeta terra;
- VI) Modificar atitudes e práticas pessoais: ênfase a valores éticos que apoiem a sustentabilidade;
- VII) Permitir que as comunidades cuidem de seu próprio meio ambiente;
- VIII) Gerar uma estrutura nacional para a integração de desenvolvimento e

¹ MILARÉ, É. **Direito do ambiente**: Doutrina, Jurisprudência, glossário. 4 ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2005.

conservação;

IX) Constituir uma aliança global em prol da sustentabilidade.

Um produto sustentável deve basear-se em uma visão mais ampla do que a habitualmente é adotada, considerando todas as fases, desde sua concepção ao completo ciclo de vida. Magnago et al. (2012) cita que entre 60% e 80% de todos os impactos ambientais causados ao longo da vida de um produto são determinados nas fases iniciais de seu projeto. Deste modo, o design assume uma abordagem sistêmica, passando do produto ao sistema-produto como um todo. Sendo assim, faz-se necessário projetar o ciclo de vida completo de um produto, o *Life Cycle Design* (LCD) (MANZINI & VEZZOLI, 2008).

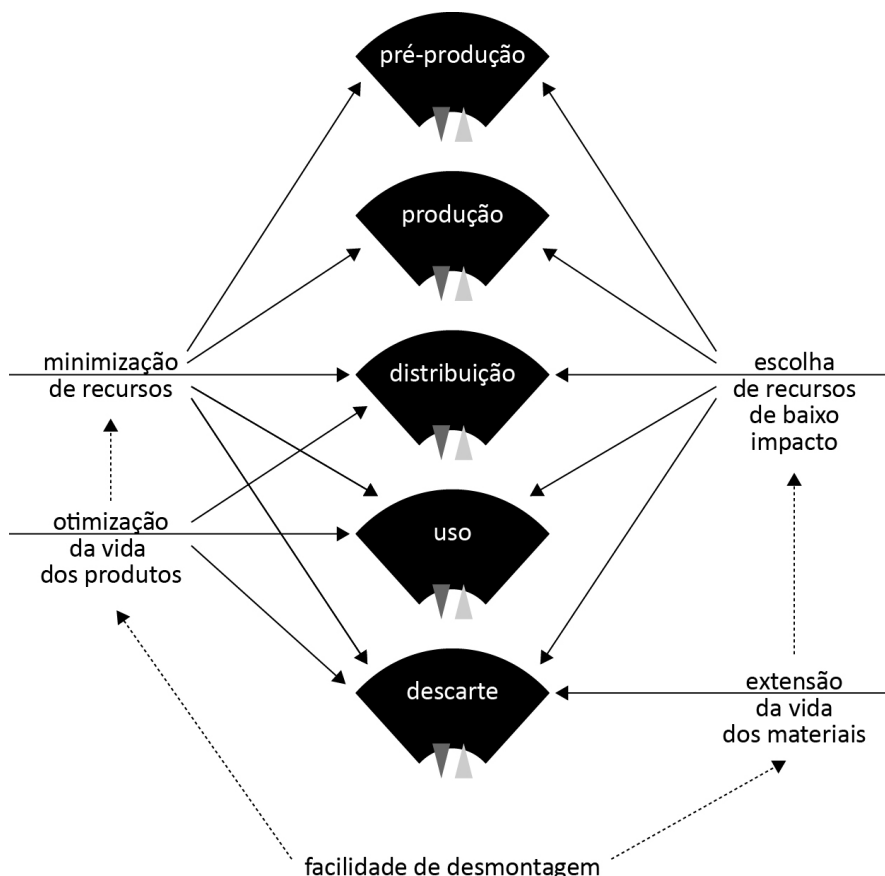


Figura 2 - Estratégias de Life Cycle Design e fases do ciclo de vida.

Fonte: Manzini & Vezzoli (2008)

O objetivo do *Life Cycle Design* segundo Manzini & Vezzoli (2008) é o de minimizar os impactos ambientais em todo o ciclo de vida de um produto, ou seja, reduzir ao máximo possível a utilização de energia na produção e na utilização, bem como o

impacto de todas as emissões e refugos ao fim do ciclo. Os autores ainda apresentam as estratégias para implementação do *Life Cycle Design*, as quais seguem:

- Minimização dos recursos: Redução do uso de materiais e energia;
- Escolha de recursos e processos de baixo impacto ambiental: Seleção de materiais, processos e fontes energéticas de maior eco-compatibilidade;
- Otimização da vida dos produtos: Projetar artefatos que perdurem;
- Extensão da vida dos materiais: Projetar em função da valorização e reutilização dos materiais descartados;
- Facilidade de desmontagem: Projetar em função da facilidade de separação das partes e dos materiais.

2.2 Reciclagem e reuso dos resíduos sólidos na construção civil

A lei número 12.305 instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos e foi sancionada em agosto de 2010. Por mais de 20 anos este tema foi discutido pela Câmara dos deputados e após a sanção foi regulamentada em 23 de dezembro do mesmo ano, pelo decreto número 7.204/2010 (BRASIL, 2010).

Neste novo cenário, a responsabilidade compartilhada e a logística reversa faz com que um planejamento nas esferas municipal, estadual e federal torne-se inevitável. Então surge o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), com o objetivo de apresentar uma metodologia de gestão de resíduos sólidos (MMA, 2011).

Como toda nova legislação, a Política Nacional de Resíduos Sólidos traz mudanças comportamentais preventivas e punitivas, com isso os setores buscam meios de se adaptar à nova realidade. O prazo de para implantação de todas as medidas municipais, a fim de que se cumpra o determinado pela legislação, finda em agosto de 2014 (MMA, 2011).

2.2.1 Legislação vigente

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela lei 12.305/2010, foi criada com o objetivo de propor um gerenciamento adequado dos resíduos, e de determinação a responsabilidade compartilhada entre o poder público e os geradores de resíduos na comunidade. Esta lei é aplica-se a todos os responsáveis que possuam envolvimento direto ou indireto no processo.

A lei 12.305/2010 possui correlação a outras legislações em vigor tais como:

- Política Nacional de Educação Ambiental (Pnea) – Lei 9.795/1999;
- Lei de Saneamento Básico – Lei 11.445/2007;
- Lei dos Consórcios Públicos – Lei 11.107/2005;

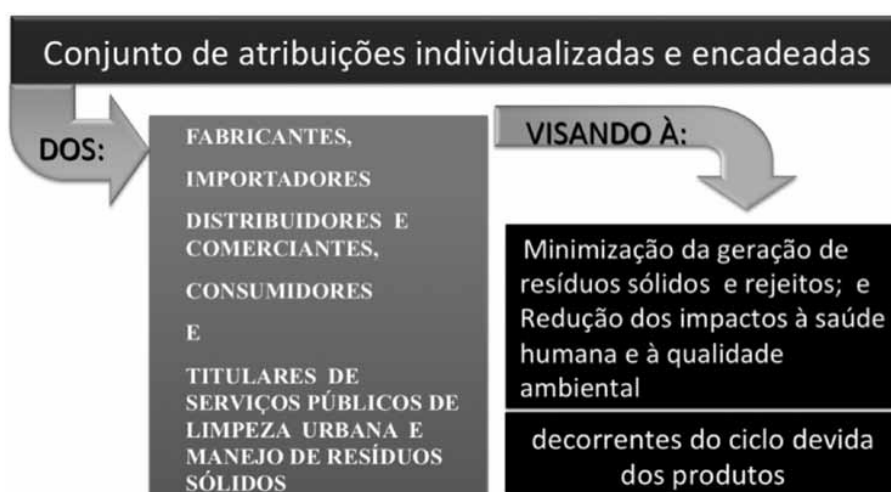


Figura 3 – Responsabilidade compartilhada no ciclo de vida dos produtos
Fonte: CNM (2011)

A Política Nacional de Resíduos Sólidos conceitua resíduos sólidos como:

Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (MMA, 2011).

A classificação determinada pela lei (BRASIL, 2010) é a seguinte:

- Quanto à origem:

Domiciliares, de limpeza urbana, urbanos, de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, dos serviços públicos de saneamento básico, industriais, de serviços de saúde, da construção civil, agrossilvopastoris, de serviços de transportes, e de mineração.

- Quanto à periculosidade:

Perigosos e não perigosos.

A ordem de prioridade para o assuntos contemplados pela lei quanto a gestão e o gerenciamento de resíduos sólidos, apresenta-se da seguinte forma: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010).

Para elaboração do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos - PGRS, a lei determina o conteúdo a ser tratado, porém não o limita ao conteúdo expresso neste documento:

- Geradores de resíduos industriais, resíduos de serviços de saúde, resíduos de mineração e resíduos dos serviços públicos de saneamento básico.
- Estabelecimentos comerciais e de prestação de serviços que gerem resíduos perigosos; gerem resíduos que, mesmo caracterizados como não perigosos, por sua natureza, composição ou volume, não sejam equiparados aos resíduos domiciliares pelo poder público municipal; empresas de construção civil.
- Responsáveis por portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira e as empresas de transporte.
- Responsáveis por atividades agrossilvopastoris, se exigido pelo órgão competente do SISNAMA, do SNVS ou do SUASA.

A Lei 12.305/10 também foi criada objetivando o desenvolvimento social econômico e para isso ela enfoca a logística reversa, que constitui uma série de ações que visam o

reaproveitamento dos resíduos sólidos, por meio da coleta dos resíduos, devolução ao setor empresarial e o reaproveitamento do material em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou simplesmente a destinação ambiental correta (BRASIL, 2010).

Prazos estipulados pela lei

Os municípios que apresentaram seus PMGIRS até 2 de agosto de 2012 se qualificaram para receber recursos da União com o objetivo de implanta-lo. (Art. 55)

Determina ainda que os municípios terão até 2 de agosto de 2014 para eliminar os lixões como forma de disposição final de seus resíduos. (Art. 54)

2.2.2 Resíduos de Construção e Demolição - RCD

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT –, traz uma classificação geral sobre resíduos sólidos e semi-sólidos (BR10.004 – ABNT, 2004 a), porém é na Resolução 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, que encontramos uma definição acurada de resíduos da construção civil. A resolução os define como:

(...) são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha (CONAMA, 2002).

Segundo Cabral & Moreira (2011), as causas de geração destes resíduos são diversas, mas pode-se destacar:

- A falta de qualidade dos bens e serviços, podendo dar origem às perdas de materiais, que saem das obras na forma de entulho;
- A urbanização desordenada que faz com que as construções passem por adaptações e modificações gerando mais resíduos;
- O aumento do poder aquisitivo da população e as facilidades econômicas que impulsionam o desenvolvimento de novas construções e reformas;
- Estruturas de concreto mal concebidas que ocasionam a redução de sua vida útil e necessitam de manutenção corretiva, gerando grandes volumes de resíduos;
- Desastres naturais, como avalanches, terremotos e tsunamis;
- Desastres provocados pelo homem, como guerras e bombardeios.

Os autores Cabral & Moreira (2011) ainda acrescentam que, de modo geral, os níveis tecnológicos da região e da construtora influenciam diretamente no volume de resíduos gerados, pois levam em consideração: a qualidade dos materiais e componentes, a qualificação da mão-de-obra, a existência de procedimentos operacionais e mecanismos de controle do processo construtivo.

Considerando que grande parcela dos resíduos da construção civil é oriunda das atividades dos canteiros de obras e de serviços de demolição, pode-se denominá-los genericamente de resíduos de construção e demolição – RCD (CABRAL & MOREIRA, 2011)

Classificação dos resíduos

Encontra-se na NBR 10.004 a classificação de resíduos sólidos, que está diretamente relacionada com sua origem e composição:

Desta forma, os resíduos sólidos são classificados em:

A. Resíduos classe I

- Perigosos;

B. Resíduos classe II

- Não perigosos;

Resíduos classe II A

- Não inertes.

Resíduos classe II B

- Inertes.

Os resíduos da construção civil, de forma usual, estão enquadrados na classe II B, porém, a presença de tintas, solventes, óleos e outros derivados pode alterar a classificação do RCD para classe I ou classe II A.

A Resolução 307 do Conama, de 5 de julho de 2002, determinou normas para a gestão dos resíduos da construção e demolição, direcionando responsabilidades para os geradores de RCD, tanto do poder público como da iniciativa privada, e também definiu e classificou esses resíduos, conforme art. 3º que os define como:

A) Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

- De construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infra-estrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
- De construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimentos, etc.), argamassa e concreto;
- De processo de fabricação ou processo de produção de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio fios etc.) produzidas nos canteiros de obras.

B) Plásticos, papel/ papelão, metais, vidros, madeira e gesso.

C) Resíduos para os quais não foram desenvolvida tecnologia ou aplicações economicamente viáveis que permitam a reciclagem ou recuperação.

D) Tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas ou reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais, telhas e demais objetos que contenham amianto.

Um quadro apresentando a situação da usinas de reciclagem no Brasil em 2011 encontra-se no anexo 1. O anexo 2 apresenta outras normatizações referentes a resíduos sólidos.

2.2.3 Abordagem econômica

O Construbusiness, também conhecido por cadeia produtiva da construção civil, envolve os mais variados setores deste ramo, passando pela extração de matéria prima, produção e fornecimento de insumos e a própria construção, sendo que este último setor se destaca em matéria de empregabilidade (ABRAMAT/FGV, 2010), conforme demonstrado na figura abaixo.

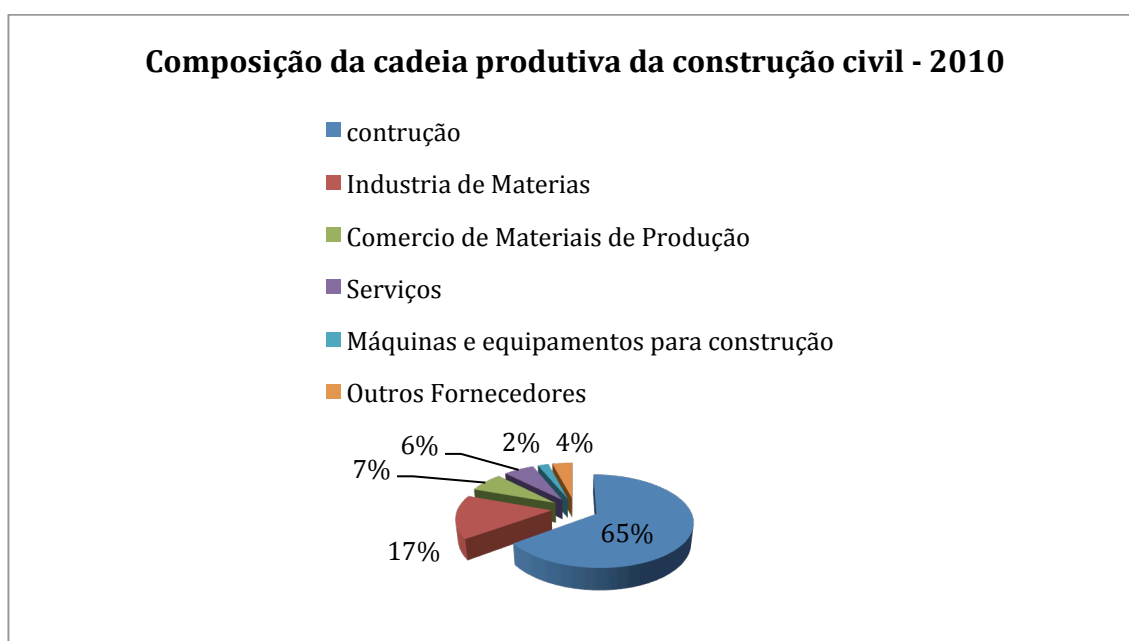


Figura 4 - Perfil da cadeia produtiva da construção e da Indústria de materiais.
Fonte: ABRAMAT/FGV (2010)

Na 10ª edição do Congresso Brasileiro da Construção em 03/12/2012, organizado pela Fiesp, o vice-presidente da República, Michel Temer declarou:

O Construbusiness é um exemplo de conexão entre a atividade privada e o poder público. Já que não é possível fazermos tudo, precisamos contar com o apoio da iniciativa privada. O Brasil hoje se multidimensionaliza por meio de suas empresas (FIESP, 2013).

Segundo o documento gerado pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção, no encontro da Indústria para Sustentabilidade, estima-se que atualmente a indústria da construção, em todo o Brasil, represente 8,1% do PIB e seja responsável pela ocupação de mais de 11,3 milhões de trabalhadores, pouco mais de 70% do total no macrossetor (CNI, 2012).

Os setores de autogestão, autoconstrução e construtoras que executam obras ou etapas das obras de engenharia, concentram a maior parcela da renda da cadeia da construção, 65% ou 193,59 bilhões de Reais. São estes segmentos que determina o ritmo de atividade dos demais elos da cadeia. A indústria de materiais é o segundo segmento que mais adicionou valor dentro da cadeia: 46,2 bilhões de Reais, ou 15,5% do PIB da cadeia, produzidos por 680 mil trabalhadores, segundo dados de 2010 (CNI, 2012).

As informações coletadas indicam que ações coordenadas dos setores envolvidos junto aos governos e as organizações da sociedade civil, disseminando praticas sustentáveis, tornaram a participação da construção civil cada vez mais representativa na economia do País (CNI, 2012).

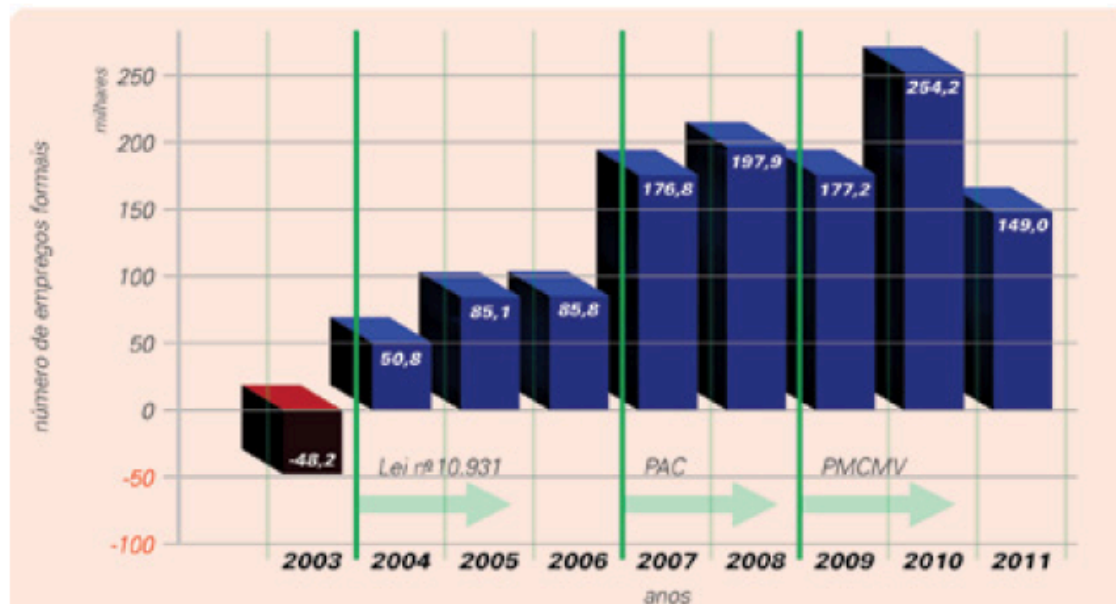
2.2.4 Abordagem social

A construção civil é um dos setores que mais gera empregos no Brasil em função do crescimento populacional e por ser um dos setores com a maior demanda por mão de obra (CNI, 2012).

Um estudo apresentado no Encontro da Indústria para a Sustentabilidade pela Confederação Nacional Da Indústria, em 2012 , relata que pelo fato de ser um dos mais intensivos em mão de obra, o setor representou grande parcela das contratações dos últimos anos. O crescimento da ocupação se deu junto com um forte movimento de formalização das atividades. E isso se refletiu no aumento expressivo do número de empregados com carteira de trabalho assinada. De dezembro de 2004 a dezembro de 2010, o emprego com carteira na construção registrou crescimento de 139,34%, ou 13,28% ao ano, acréscimo de 1,46 milhão de pessoas no mercado formal de trabalho. Esse resultado torna-se ainda mais expressivo quando comparado com períodos anteriores. De 1986 a 1989, foram abertos 219 mil empregos formais na construção

civil. Já na década seguinte, de 1990 a 1999, registrou-se queda de 30,4 mil empregos formais no setor (CNI, 2012).

Gráfico 1 - Número de empregos formais na construção civil.



Fonte: CNI (2012)

2.3 Energia solar fotovoltaica

A energia solar é uma das fontes alternativas de energia mais limpa, abundante e inesgotável entre todos os recursos energético renováveis (WWF-BRASIL, 2006). Esta energia chega à terra nas formas térmica e luminosa e por si só irradia, em um único dia na superfície da terra, mais energia que a demanda total de todos os habitantes em um ano. Contudo, a radiação solar não atinge toda a superfície terrestre de modo uniforme, sua incidência varia de acordo com a latitude, as estações do ano e as condições atmosféricas tais como umidade relativa do ar e nebulosidade (PEREIRA et al., 2006).

Uma das formas de aproveitamento desta energia ocorre pelo efeito fotovoltaico, o qual utiliza células solares capazes de converter a energia solar em energia elétrica (BODON & PELEGRINI, 2013). Para gerar energia fotovoltaica, são necessário painéis

solares compostos por células que contém material fotovoltaico, o qual pode ser produzido a partir de silício monocristalino, silício policristalino, silício amorfo, o telureto de cádmio, cobre, índio e selênio, entre outros (ANEEL, 2008).

Na década de 1950, a Bell Labs desenvolveu a primeira célula fotovoltaica de silício. Possuía apenas dois centímetros quadrados de área e uma eficiência de apenas 6%, gerando 5 mW de potência elétrica. Cinquenta anos depois, em 2004, a produção de células girava em torno de 1 bilhão de unidades, com eficiência da ordem dos 24,7%, atingindo a capacidade mundial de energia solar instalada superior a 8,2 GW em 2008, o que equivale a cerca de 57% da capacidade instalada de Itaipu. Em 2007 pesquisadores da Universidade de Delaware, Estados Unidos, conseguiram aumentar a eficiência energética das células solares de silício cristalino, atingindo um rendimento de 42,8% de conversão, sob condições normais de iluminação (AMBIENTE BRASIL, 2013).



Figura 5 - Gerald Pearson, Daryl Chapin, Calvin Fuller e a sua primeira célula solar, desenvolvida nos laboratórios da Bell Telephone C. em 1954.

Fonte: Ambiente Brasil (2013)

As primeiras células solares a surgirem possuíam elevado custo e foram produzidas para a geração de energia elétrica para os satélites que orbitam nosso planeta. O desenvolvimento de novas tecnologias de produção tornou economicamente viável sua utilização em aplicações terrestres (RÜTHER, 2004).



Figura 6 - A primeira aplicação de uma célula solar de silício foi como fonte de alimentação de uma rede telefônica local em Americus, na Geórgia, Estados Unidos da América, em 1955.
Fonte: Ambiente Brasil (2013)

O primeiro satélite equipado com células solares foi lançado em março 1958, o Vanguard I, que possuía um painel com 6 pequenas células solares, ocupando uma área de aproximadamente 100cm^2 , capazes de produzir aproximadamente 0.1W para alimentar um pequeno transmissor de 5mW . Um de seus transmissores, alimentado por bateria, parou de funcionar ainda em junho de 1958 quando estas se esgotaram. O transmissor movido a energia solar funcionou até Maio de 1964, quando os últimos sinais foram recebidos e o satélite deixou de operar (NASA, 2013).



Figura 7 - Satélite Vanguard I (NASA <<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/image/spacecraft/vanguard1.jpg>>.
Acesso em: 17/03/2013)

Um dos destaques da aplicação terrestre é a possibilidade de se produzir energia em locais onde não há distribuição por parte da rede pública de energia elétrica, contribuindo para a chamada geração distribuída (RÜTHER, 2004). Contudo, para utilização desse sistema, faz-se necessário a utilização de baterias para acumular a energia e suprir a necessidade em períodos quando a incidência solar é insuficiente para a gerar a capacidade demandada e a noite. Por essas características, tal sistema é denominado de autônomo (GREENPRO, 2004).

Uma residência com um sistema autônomo de energia fotovoltaica pode não ser tão popular entre os brasileiros, mas este tipo de aplicação em aparelhos eletrônicos já muito conhecido. Dentre os principais produtos a utilizar células solares destacam-se: calculadoras eletrônicas, lanternas, relógios, carregadores de baterias, dentre outros que utilizam sistemas autônomos de reduzida dimensão (RÜTHER, 2004).

A aplicação mais recente trata-se do sistema ligado à rede, no qual a energia gerada pelas células fotovoltaicas instaladas em uma edificação é direcionada à rede pública de energia elétrica. Nesta aplicação se dispensam os acumuladores. A energia direcionada à rede pública gera um crédito ao produtor que poderá fazer uso quando consumir energia da rede pública (ANEEL, 2012).

Na Europa há um forte crescimento desta aplicação com incentivos governamentais. Especificamente na Alemanha, entre 1991 e 1995, houve uma grande expansão deste sistema principalmente devido a um subsídio governamental denominado “Programa dos 1.000 telhados”, que posteriormente evoluiu para o “Programa dos 100.000 telhado” desde 1999 e o Decreto sobre concessão de prioridade a fontes de energia renováveis (Renewable Energy Sources Act – EEG 1/4/2000), aprovado pelo parlamento alemão em 25 de fevereiro de 2000, regulamenta a compra e compensação de energia que foi produzida exclusivamente a partir de fontes renováveis e é controlado por intermédio de empresas de energia que operam redes para uso de eletricidade em geral (EEG, 2007).



Figura 8 - Exemplo de ligação de um sistema conectado à rede. 1) Ligação entre os geradores PV e o inversor; 2) Ligação que envia energia PV para a rede elétrica pública; 3) Inversor; 4) Medidor de energia elétrica da rede pública.

Fonte: Coddington, Margolis & Aabakken (2008)

No Brasil a Aneel – Agência Nacional de Energia Elétrica – aprovou em 17 de Abril de 2012 a Resolução Normativa 482, criando a regulamentação necessária para que os consumidores de energia elétrica possam ser também geradores de energia. Atualmente, os concessionários já possuem suas regras para a instalação de sistemas fotovoltaicos ligados à rede. A Regulamentação da ANEEL prevê créditos energéticos por meio de compensação, para tanto, é utilizado um medidor bidirecional, que continuará medindo o consumo da rede pública e também irá medir a energia transferida para a rede que foi produzida pelo gerador fotovoltaico (ANEEL, 2012). Tal regulamentação poderá servir de estímulo para que aumente a geração de energia por células fotovoltaicas, mas o Brasil ainda encontra-se muito distante dos principais produtores mundiais, que contam com políticas de incentivo e até mesmo compulsórias para a utilização da energia solar, seja térmica ou fotovoltaica (BODON et al., 2013).

A maior parte do território brasileiro encontra-se localizado na região intertropical e possui grande potencial para aproveitamento de energia solar durante todo o ano

(PEREIRA, 2006, p. 10). O período de visibilidade do sol e de claridade tem pouca variação durante o ano. As maiores variações ocorrem no extremo sul do país, no estado do Rio Grande do Sul.

Apesar das diferentes características climáticas observadas no Brasil, pode-se observar que a média anual de irradiação global apresenta boa uniformidade, com médias anuais relativamente altas em todo país. O valor máximo de irradiação global – $6,5\text{kWh/m}^2$ - ocorre no norte do estado da Bahia, próximo à fronteira com o estado do Piauí. A menor irradiação solar global – $4,25\text{kWh/m}^2$ – ocorre no litoral norte de Santa Catarina. Os valores de irradiação solar global incidente em qualquer região do território brasileiro ($4200\text{-}6700\text{ kWh/m}^2$) são superiores aos da maioria dos países da União Européia, como Alemanha ($900\text{-}1250\text{ kWh/m}^2$), França ($900\text{-}1650\text{kWh/m}^2$) e Espanha ($1200\text{-}1850\text{ kWh/m}^2$), onde projetos para aproveitamento de recursos solares, alguns contando com fortes incentivos governamentais, são amplamente disseminados (PEREIRA et al., 2006. p. 31).

Uma das vantagens dos sistemas ligados à rede, além da redução dos custos para implantação de um sistema fotovoltaico, diz respeito à coincidência que ocorre nos momentos de máxima incidência solar. Neste período ocorre também um pico de consumo de energia elétrica, que é demandada principalmente pelos aparelhos de ar-condicionado. Pelo conceito de sincronicidade, a maior demanda por energia ocorre simultaneamente aos períodos de maior incidência solar, que propicia elevação na quantidade de energia fotovoltaica produzida e contribui, principalmente, para a diminuição dos riscos de um *blackout* energético (Rüther, 2004).

2.3.1 Princípio físico básico – O efeito fotoelétrico

Efeito fotoelétrico ou fotovoltaico é a emissão de elétrons de uma superfície metálica quando esta recebe incidência direta de luz. Ocorre quando fótons incidem sobre átomos de materiais semicondutores, como o silício, provocando a emissão de elétrons e gerando corrente elétrica (GUTMANN & OLIVEIRA, 2002).

Forças de atração mantém os elétrons girando em torno do núcleo atômico, no entanto, ao receberem radiação eletromagnética (luz) com energia superior àquela

que os mantêm ao redor do núcleo, eles abandonam suas órbitas (PARIDA et al., 2011).

Para a produção e utilização da energia elétrica gerada pelo efeito fotoelétrico, são utilizadas células solares, produzidas utilizando materiais semicondutores como o silício cristalino (c-Si), o silício amorfo hidrogenado (a-Si:H), o telureto de cádmio (CdTe) e composto de disseleneto de cobre (gálio) e índio (CuInSe₂ ou CIS e Cu(InGa)Se₂ ou CIGS) (GREENPRO, 2004).

Levando em conta que 25% da crosta terrestre é constituída de silício e seus compostos, a facilidade de transferência de tecnologia da indústria eletrônica e, o amplo desenvolvimento de semicondutores baseados em silício, 90% das células solares produzidas atualmente é proveniente deste material (SERODIO, 2009).

O material utilizado nas células solares precisa possuir o mais elevado grau de pureza possível. O silício de grau solar (SGS) possui 99,9999% de pureza (conhecido como seis noves), grau de pureza exigido para a condução de energia elétrica (SERODIO, 2009).

Com a popularização da energia fotovoltaica, a partir da década de 60, a produção de células solares se utilizava do refugo e/ou da reciclagem do SGE –silício de grau eletrônico- utilizado para a fabricação de microeletrônicos, que utiliza um grau de pureza ainda mais elevado para o silício, com índices de de 99,99999999% - 99,9999999999% ou 9N a 11N de pureza. Entre 2003 e 2004, a demanda por SGS superou a quantidade supridas pelas sobras do SGE. Em 2007 a demanda por silício de grau solar superou a demanda total do silício de grau eletrônico. A partir de então, devido principalmente ao aumento da demanda, os custos para a produção de células solares e também a produção de energia fotovoltaica, começaram a reduzir, aumentando ainda mais sua viabilidade (SERODIO, 2009).

2.4 Tecnologias e sistemas fotovoltaicos

2.4.1 Células de silício cristalino

O silício cristalino (c-Si) é a tecnologia fotovoltaica mais tradicional e sua aplicação é feita a partir de lâminas cristalinas com um diâmetro típico de aproximadamente 10cm e espessura de 300 - 400 μ m, relativamente espesso se comparado às tecnologias baseada em películas delgadas, que são filmes muito finos com espessura da ordem de 1 μ m. Por este aspecto essas novas tecnologias detêm um grande potencial para redução dos custos de produção, enquanto representa uma limitação às células de silício, contudo, as células de c-Si se consolidou no mercado fotovoltaico devido à sua extrema robustez e confiabilidade (SERODIO, 2009; RÜTHER, 2004).

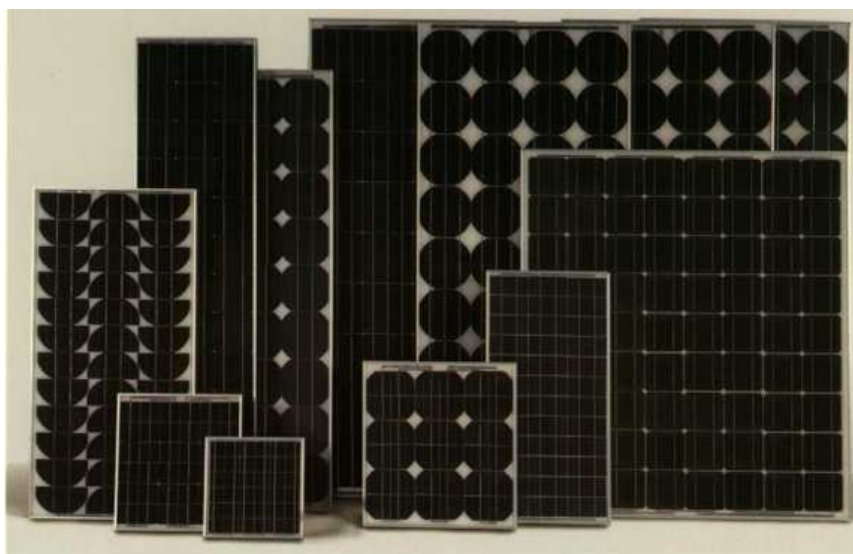


Figura 9 - Módulos solares fotovoltaicos de c-Si.
Fonte: Rütther (2004)

2.4.2 Células de silício monocristalino

Para se obter as células fotovoltaicas utilizando o silício monocristalino (m-Si) o núcleo de cristal é imerso em um banho de silício fundido ao ponto de fusão, com temperatura de 1420°C em reatores sob atmosfera controlada que faz o cristal crescer

até formar barras com 30 cm de diâmetro e vários metros de comprimento. Estas barras são cortadas formando lâminas com espessura de 0,3mm para a produção de células. Devido a alta temperatura e ao tempo para a produção destas células, o *energy pay-back time* -tempo necessário para que o módulo gere energia equivalente à utilizada em sua fabricação- é superior a 2 anos (RÜTHER, 2004).

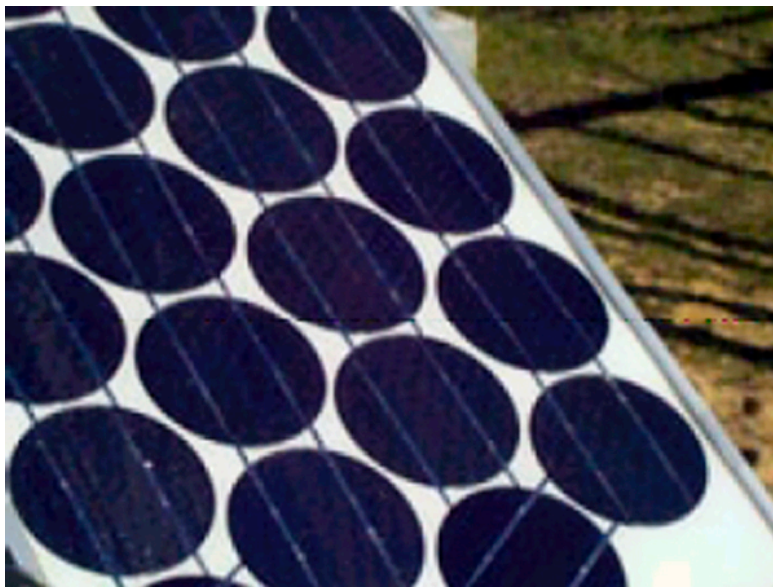


Figura 10 – Módulo com células fotovoltaicas de m-Si (Portal Energia. <<http://www.portal-energia.com/principais-tipos-de-celulas-fotovoltaicas-constituintes-de-paineis-solares/>>. Acesso em: 17/03/2013)

2.4.3 Células de silício policristalino

O silício policristalino (p-Si) tem um custo reduzido para produção, no entanto, também apresenta menor eficiência de conversão. O material utilizado é o silício em estado bruto, que é fundido, a vácuo, a uma temperatura de 1500°C e posteriormente solidificado formando blocos com grande quantidade de cristais. Assim como para a obtenção de células de m-Si, o p-Si é serrado formando lâminas com espessura de 0,3mm (RÜTHER, 2004; TORRES, 2012).



Figura 11 - Módulo com células fotovoltaicas de p-Si (Green Options
<<http://www.greenoptions.com/t/1567/breakthrough-reported-on-low-cost-alternative-to-silicon-solar-cells>>. Acesso em 17/03/2013)

2.4.4 Células de silício amorfo

O silício amorfo (a-Si) difere-se das demais estruturas cristalinas apresentando irregularidade na estrutura dos átomos. Como resultado, ocorrem ligações livres que absorvem hidrogênio até a saturação. O silício amorfo hidrogenado (a-Si:H) é criado num reator de plasma e requer temperaturas reativamente baixas, que variam entre 200°C e 250°C. Os finos filmes produzidos são aplicados sobre outros substratos de baixo custo, como vidro, aço inoxidável e alguns tipos de plásticos (RÜTHER, 2004; TORRES, 2012).

Dentre suas propriedades, aliadas aos suportes a que são agregados, alguns filmes apresentam características de transparência, flexibilidade, alta resistência a impactos. Podem também ser bastante leves e serem utilizados sobre superfícies curvas (RÜTHER, 2004).

Estas células apresentam um custo reduzido, são versáteis e permitem variada aplicações, no entanto, possuem baixa eficiência, que é reduzida ainda mais durante

os primeiros 6 a 12 meses de funcionamento, devido à degradação ocasionada pela luz. Ainda assim, apresentam alta eficiência sob radiação difusa (predominante em dias de céu nublado) e sob iluminação artificial, nesses casos, superando a eficiência das células de c-Si (RÜTHER, 2004; PARIDA et al., 2011).

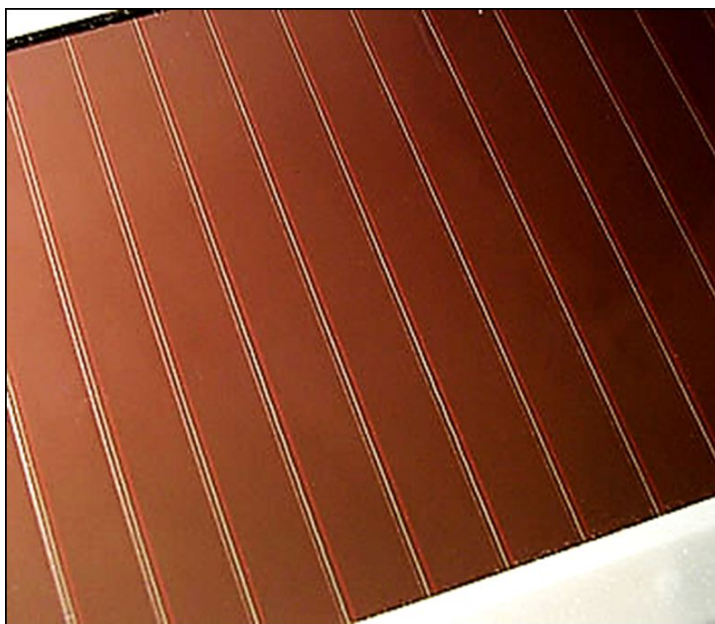


Figura 12 – Módulo com células fotovoltaicas de a-Si (BlueSol Educacional < <http://www.bluesol.com/energia-solar/energia-solar-como-funciona-tipos-de-celulas-fotovoltaicas/>>. Acesso em 17/03/2013)

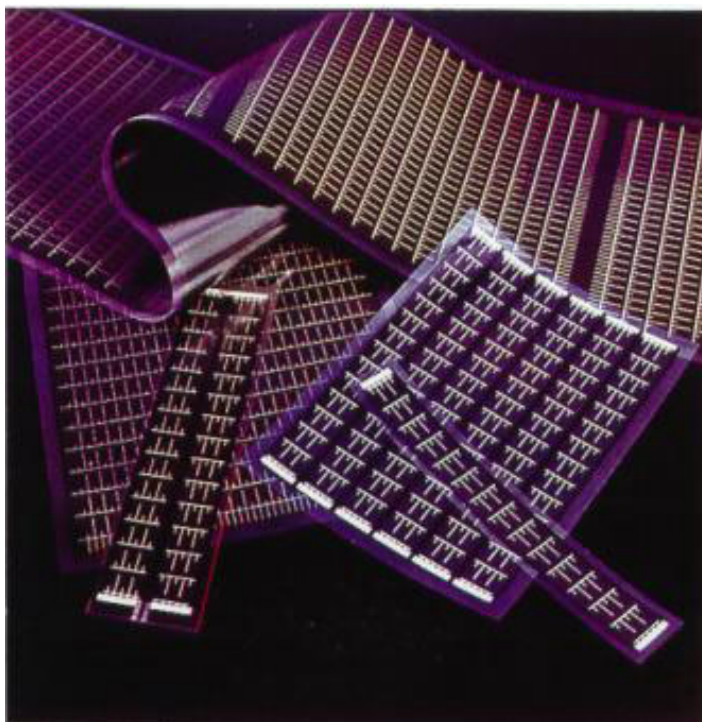


Figura 13 – Filme fotovoltaico flexível de a-Si (NASA < <http://sbir.gsfc.nasa.gov/SBIR/successes/ss/206text.html>>. Acesso em 17/03/2013)

2.4.5 Células de telureto de cádmio

Células fotovoltaicas de telureto de cádmio (CdTe) são produzidas sobre lâminas de vidro, especialmente em placas de grande formato. Normalmente estas placas de vidro apresentam coloração em tons de marrom ou azul escuro, o que propicia sua aplicação com valorização estética (RÜTHER, 2004; TORRES, 2012; PARIDA et al., 2011).

A produção de células com esta tecnologia tem um potencial considerável de redução em grande escala. Contudo, além da baixa abundância dos elementos, a aceitação no mercado pode encontrar resistência devido à toxicidade do Cádmio, quando encontra-se no estado gasoso, ou seja, durante o processo de fabricação, mesmo que em ambientes controlados (RÜTHER, 2004).

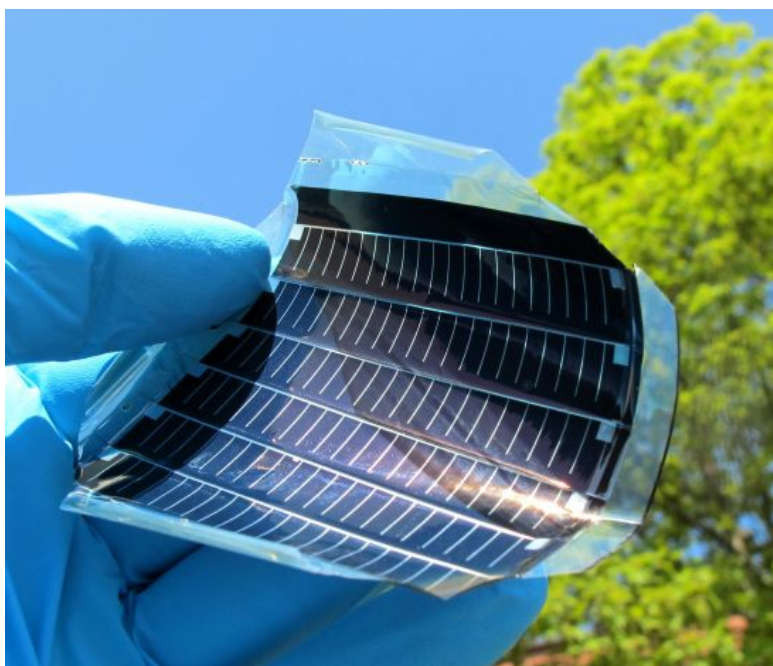


Figura 14 – Filme fotovoltaico flexível de CdTe (The Engineering Economist
<<http://engineeringeconomist.blogspot.com.br/2011/06/efficiency-record-for-flexible-cdte.html>>.
Acesso em 17/03/2013)

2.4.6 Células CIS e CIGS

Atualmente, uma das mais eficientes tecnologias disponíveis de película fina, são os módulos CIS -compostos baseados no disseleneto de cobre e índio (CuInSe_2)- e CIGS - compostos de disseleneto de cobre, gálio e índio (Cu(InGa)Se_2)-. Ao contrário do silício amorfo, as células solares CIS e CIGS não se degradam com a incidência da luz, porém necessitam de uma boa selagem para evitar a umidade, que em ambientes quentes, pode tornar instável sua eficiência (RÜTHER, 2004; PARIDA et al., 2011).

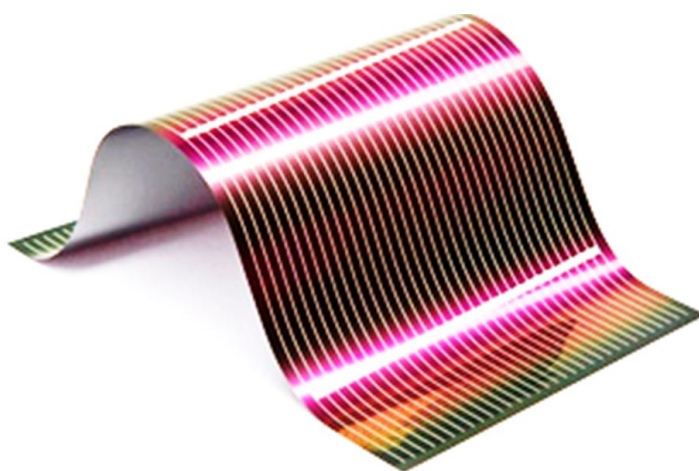


Figura 15 – Filme fotovoltaico CIGS (BlueSol Educacional < <http://www.blue-sol.com/energia-solar/energia-solar-como-funciona-tipos-de-celulas-fotovoltaicas/>>. Acesso em 17/03/2013)

2.5 Células e painéis fotovoltaicos modulares

A célula fotovoltaica é a unidade básica para a construção dos painéis solares fotovoltaicos. Seu princípio de funcionamento baseia-se no “efeito fotoelétrico” (MESSENGER e VENTRE, 2000). O elevado custo das células fotovoltaicas é reconhecido um dos fatores limitantes para a ampla aplicação destas tecnologias. Entretanto é importante observar que o custo dos sistemas de energia solar vem caindo com a introdução de novas tecnologias, melhorias nos processos de manufatura e aumento da produção. De acordo com Feldman et al (2013), entre o período de 1998-2013, os custos dos sistemas fotovoltaicos instalados registraram uma redução de 6-7% ao ano. As perspectivas futuras são muito promissoras, considerando os avanços na eficiência, redução de custos e aumento da durabilidade e

resistências das células fotovoltaicas (KANN, 2010; FELDMAN et al., 2013; BODON et al., 2013).

Segundo Rüther (2004), os painéis solares fotovoltaicos são produzidos para suportar as mais variadas condições climáticas, operando satisfatoriamente por períodos de 25 anos ou mais. Deste modo, podem ser aplicados de modo independente ou mesmo integrado    superfícies de edificações com dupla função: gerar eletricidade e atuar como elemento arquitet  nico em telhados, paredes, fachadas ou janelas. A Figura 16 apresenta uma esquematização das principais etapas e processos de fabricação de módulos/painéis fotovoltaicos, levando em consideração as normas técnicas empregadas no controle de qualidade (RÜTHER, 2004; BODON et al., 2013).

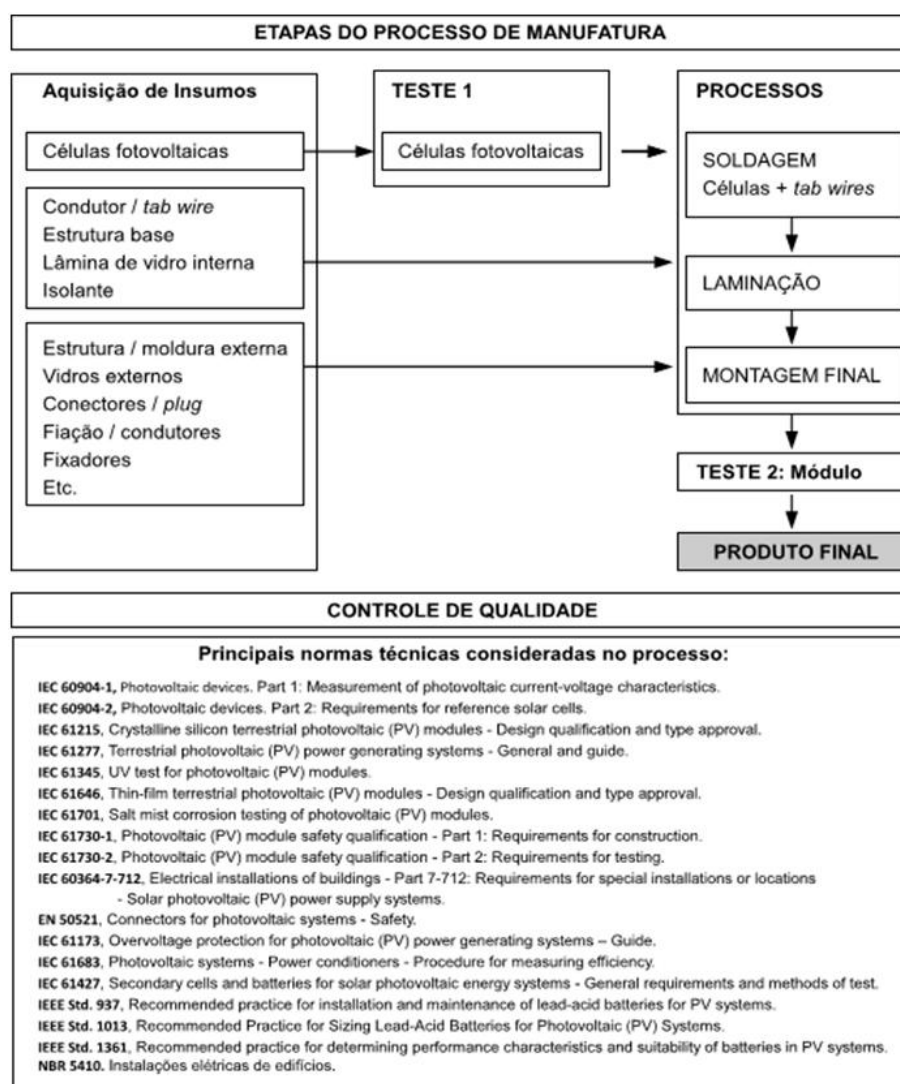


Figura 16 – Esquematização das principais etapas do processo de manufatura dos módulos/painéis fotovoltaicos e indicação de normas técnicas relevantes para o controle de qualidade.

Fonte: Bodon et al., 2013

2.5.1 Telhas fotovoltaicas

Freitas et al. (2012) apresentam em seu trabalho uma linha de telhas poliméricas que contém células fotovoltaicas de silício monocristalino desenvolvidas pela empresa brasileira Solbravo Desenvolvimento de Tecnologias Sustentáveis S/A. As telhas solares são fabricadas a partir de um compósito polimérico, por um processo denominado *casting*. A composição da telha foi determinada a partir da variação do polímero base e de aditivos, como cargas, estabilizantes, protetores de radiação UVA., entre outros, obtendo-se assim um material com boas propriedades mecânicas e com resistência química ao intemperismo. O processo revelou-se economicamente viável e também permitiu a confecção de telhas solares nas mais variadas formas. A Figura 17 apresenta imagens de telhas modelo "plan", na variação "capa", à base de resina polimérica com os módulos solares de silício monocristalino encapsulados, a combinação de várias dessas telhas ligadas em série e paralelo permite que toda a área do telhado seja utilizada para a conversão da energia solar em elétrica (FREITAS et al., 2012).



Figura 17- Telha fotovoltaica modelo plan Solbravo.
Fonte: Freitas et al. (2012)

2.5.2 Vidro fotovoltaico

O projeto de um vidro fotovoltaico demanda, basicamente, que as células fotovoltaicas sejam encapsuladas entre duas lâminas de vidro, recomendado principalmente quando instalado a 90 grau, ou encapsuladas, utilizando uma ou as duas lâminas externas de polímeros, recomendado especialmente para aplicações em

coberturas, a fim de garantir maior rigidez e segurança (PENG et al., 2011). O distanciamento entre as células irá priorizar maior geração de energia ou maior luminosidade ao ambiente no qual este vidro seja instalado (Figura 18).



Figura 18 – BIPV com vidro fotovoltaico modular

Fonte: Sapa Building System. <<http://www.sapa-solar.com/sapa-building-system.html>>, 10/04/2013.

Benefícios dos sistemas fotovoltaicos integrados nas edificações (BIPV)

Duas das tendências que vem ganhando força no setor de energia elétrica, referem-se ao uso de sistemas e tecnologias de geração distribuída e geração de energia local. Em linhas gerais, estas abordagens visam à implantação de pequenas unidades de geração de energia elétrica instaladas diretamente onde a demanda se encontra. Esta estratégia reduz perdas de transmissão por longas distâncias. Observa-se que painéis de energia solar fotovoltaica instalados em edifícios seguem estas tendências, ao mesmo tempo em que oferecem um meio de geração de energia limpa e renovável (EIA, 2009; ANEEL, 2008; REN21, 2010).

Uma das vantagens dos sistemas ligados à rede, além da redução dos custos para implantação de um sistema fotovoltaico, pode ser descrito pelo conceito de sincronicidade, onde a maior demanda por energia ocorre simultaneamente aos períodos de maior incidência solar, que propicia elevação na quantidade de energia

fotovoltaica produzida e contribui, principalmente, para a diminuição dos riscos de um blackout energético (RÜTHER, 2004).

Convém também destacar o aumento do interesse em edificações sustentáveis. Por exemplo, a busca por certificações em sustentabilidade, como a certificação LEED (Leadership in Energy & Environmental Design), emitida no Brasil pelo Green Building Council Brazil (GBGB), demonstra um aumento no reconhecimento da importância no investimento em tecnologias sustentáveis aplicadas às edificações (CNI, 2012). Pesquisas recentes comprovam que a certificação LEED pode valorizar um imóvel em até 30%, o que torna o investimento em tecnologias BIPV mais atraente (MERCER, 2009).

2.6 Building Integrated Photovoltaics – BIPV

A instalação de módulos fotovoltaicos vem se demonstrando viável na maior parte da superfície de edifícios, sejam telhados ou fachadas, fixando módulos fotovoltaicos em estruturas metálicas com a função de gerar energia, ou ainda por uma solução integrativa, substituindo componentes de telhados e fachadas por elementos fotovoltaicos com ganhos especialmente em isolamentos térmico e acústico (GREENPRO, 2004).

Building Integrated Photovoltaics (BIPV) são sistemas fotovoltaicos que substituem materiais de construção convencionais em partes dos envelopes de construção, como os telhados ou fachadas (BODON & PELEGRINI, 2013). Além disso, BIPV são considerados como uma parte funcional da estrutura da edificação, sendo arquitetonicamente integrado ao design do edifício (JELLE et al., 2012).

Ao usar a abordagem integrada, os sistemas solares se tornam parte do projeto de construção em geral, na verdade, eles também se tornam elementos de construção regulares. Isto se deve ao fato de que a integração dos sistemas solares nas fachadas

de edifícios, muitas vezes é uma necessidade (JELLE et al., 2012). Quando os sistemas devem ser economicamente viáveis, recomenda-se que os elementos solares sejam considerados de modo integrado durante o projeto, e não como elementos separados que são adicionados posteriormente (HESTNES, 2000).



Figura 19 - Cobertura em vidro com células solares espaçadas para permitir a passagem de luz
Fonte: Jelle et al. (2012); Dynamic Solar Tech (2013)

A versatilidade das células fotovoltaicas e as múltiplas possibilidades de formas e tamanho dos painéis, oferece um vasto campo para se explorar criativamente sua aplicação estética (POUSSARD, 2002).



Figura 20 – Edifício da ThyssenKrupp em Duisburg com a células fotovoltaicas integradas em sua fachada.

Fonte: Thyssenkrupp (2013)

Desde seu surgimento a energia solar fotovoltaica é explorada e tem propiciado que alguns edifícios supram parte de seu consumo de energia elétrica por intermédio desta tecnologia, no entanto, a captação era restrita a aplicação de painéis solares sobrepostos às estruturas existentes. Atualmente existem diversos componentes fotovoltaicos passíveis de integração direta às novas edificações, tão como a adaptação em edificações que não foram inicialmente projetadas para serem edifícios solares fotovoltaicos. Tal aplicação proporciona além da geração de energia elétrica, a redução dos custos, otimização da utilização dos espaços existente e ainda a possibilidade de se explorar a estética desta edificações.

O termo BIPV, relaciona-se à edifícios solares fotovoltaicos e, reconhecidamente nesta área de estudo, os produtos BIPV são aqueles que se integram às edificações, substituindo materiais construtivos usuais por substitutivos que, além de seus requisitos intrínsecos, agregam em sua estrutura células fotovoltaicas, tornando tais materiais geradores de energia fotoelétrica (JELLE et al., 2012).

2.7 Design, desenvolvimento e produção em redes de colaboração

O Design colaborativo pode ser entendido como uma rede de atores que atuam com o propósito de alcançar um objetivo comum ou de resolver um problema, interligados pelo compartilhamento de informações e conhecimentos (HEEMANN et al., 2008-b).

Kvan (2000) cita o fato de que o termo cooperação por vezes é utilizado como um sinônimo de colaboração. Utilizando uma análise da interação, intensão e grau de participação, entre os integrantes de um grupo de trabalho, a etimologia das palavras e referências de outros autores, descreve que colaboração significa trabalhar conjuntamente a outras pessoas com objetivos comuns a fim de encontrar soluções que satisfaçam a todos o interessados. Cooperação trata-se de um conceito simplista

de colaboração e que segundo Mattessich & Monsey² (1992, apud KVAN, 2000) é caracterizado por relações informais que possam existir mesmo sem a definição de uma missão, estrutura ou esforço comum.

Para Chiu (2002), design colaborativo é uma atividade que requer a participação de indivíduos e a coordenação das informações de projetos e tarefas. Implica uma relação duradoura e um forte compromisso com um objetivo comum.

Heemann et al. (2008-a) destacam o fato de existir diferentes entendimentos sobre o conceito de colaboração, por tratar-se de um assunto profundo e com muitos significados, abordado em diversos países, instituições e disciplinas, podendo ser visto sob os mais diferentes olhares. Segundo os autores o significado do termo colaboração pode fundir-se aos conceitos de “compartilhamento”, “interação”, “cooperação” e “trabalho em equipe”, aos quais apontam distinções e que estas ações assumem papéis acessórios e, juntamente com as etapas de planejamento e definição de metas, determinam um tipo mais profundo de trabalho, que pode ser considerado colaboração (HEEMANN et al., 2008-a).

Fontana et al. (2012-a) apresentam a seguinte definição de colaboração no design³:

² MATTESSICH, P.W., MONSEY, B.R. **Collaboration: What Makes It Work**. Saint Paul: Amherst H. Wilder Foundation, 1992.

³ Definição consensual de colaboração. (FONTANA *et al.*, 2012) adaptado de:

DU *et al.* **Creating shared design thinking process for collaborative design**. J Network Comput Appl, 2011.

BOCK *et al.* **Ontological product modeling for collaborative design**. Advanced Engineering Informatics 24, 2010.

FATHIANATHAM & PANCHAL, 2009.

LIMA, P., HEEMANN, A. **Premissas para o alcance do trabalho colaborativo em design**. In: CIPED, 5., Bauru, 2009.

PIIRAINEN *et al.* **Unraveling challenges in collaborative Design: a literature study**. In: International conference on groupware: design, implementation, and use, 15., 2009.

HEEMANN *et al.*, 2008-a.

EAST *et al.*, **Verification and validation of a project collaboration tool**. In: Automation in construction, 2007.

DÉTIENNE, F. **Collaborative design: managing task interdependencies and multiple perspective**. In: Interacting with Computers, 18., 2006.

É um esforço recíproco entre pessoas de iguais ou diferentes áreas do conhecimento, separadas fisicamente ou não, com um objetivo comum de encontrar soluções que satisfaçam a todos os interessados. Isso pode acontecer compartilhando informações e responsabilidades, organizando tarefas e recursos, administrando múltiplas perspectivas e criando um entendimento compartilhado em um processo de design. A colaboração visa produzir um produto e/ou serviço consistente e completo através de uma grande variedade de fontes de informação com certo grau de coordenação das várias atividades implementadas. Esse processo é dependente da relação entre os atores envolvidos, da confiança entre ele e da dedicação de cada parte (FONTANA *et al.*, 2012-a).

O projeto de um processo colaborativo adequadamente estruturado pode melhorar não só o desempenho de um único produto, mas também a evolução da linha de produtos. Deste modo o design colaborativo pode ser visto como essencial para aumentar a competitividade e o desenvolvimento sustentável de uma empresa (FATHIANATHAM & PANCHAL, 2009).

A organização do grupo de colaboração é uma das principais tarefas em um projeto colaborativo, pois pode afetar o processo de comunicação e seu desempenho. “Colaboração estruturada” em design colaborativo refere-se a uma equipe dentro de uma estrutura colaborativa na qual compartilham os mesmos objetivos. O inverso seria a colaboração desestruturada, que é executada sem objetivos comuns, com mínima dependência entre os participantes (CHIU, 2002).

O projeto de um processo colaborativo que pretenda desenvolver e produzir um produto deverá inicialmente identificar os tipos de conhecimentos que caracterizam um processo de design colaborativo e a necessidade de uma estrutura para gerir o projeto colaborativo. Como a complexidade em projetos de desenvolvimento de design aumenta continuamente, a concepção deverá integrar um grande número de

CHRISTOPOULOS, T.P., DINIZ, E.H. **A colaboração como fator diferenciador das comunidades de prática virtuais**. São Caetano do Sul: Universidade Municipal de São Caetano do Sul, 2005

YESILBAS, L.G., LOMBARD, M. Towards a knowlegde repository for collaborative design process: focus on conflict management. In: Computers in Industry, 55., 2004.

CHIU, 2002.

KVAN, 2000.

expertises com base na colaboração entre os diferentes atores envolvidos. O controle do projeto requer compreender o contexto do processo de desenvolvimento do projeto, a fim de organizar os atores a contribuir onde é necessário (ROBIN et al., 2006).

Fathianathan e Panchal (2009) descrevem que o desenvolvimento de processos de projetos são ainda mais complexos atualmente, pois o projeto, o desenvolvimento e a produção de produtos compreende em grande número o esforço colaborativo entre diversas empresas distribuídas geograficamente. Esta organização de empresas geograficamente distribuídas, trabalhando em conjunto para realizar um produto é conhecida como “empresa estendida”⁴ (DYER, 2000, apud FATHIANATHAM & PANCHAL, 2009) e trata-se de uma nova unidade de competição empresarial.

A ocorrência do fenômeno da colaboração, segundo Heemann et al. (2008), é percebida quando da reunião dos três níveis de trabalho, a saber: os níveis estratégicos, tático e operacional. O nível estratégico do trabalho foca o problema e o objetivo, descrito como “o que deve ser feito”. O nível tático descreve as metas para que o objetivo seja alcançado, explicado como “como deve ser feito”. Por fim, o nível operacional, relaciona-se à parcela prática do trabalho, ou seja, “fazer” (HEEMANN et al., 2008-a).

Os três níveis de trabalho, descritos por Heemann et al. (2008-a) são provenientes da Gestão do Design, como descrito por Roda & Krucken (2004):

A GD (Gestão do Design) caracteriza-se por posicionar-se nos três níveis organizacionais: estratégico, tático e operacional, haja vista que as consequências de se gerir o design terão impacto, tanto ao interno da organização - nas atividades de planejamento, organização, produção - como na sua relação com o meio – nas interfaces com a sociedade, com os clientes, no posicionamento no mercado, etc. (RODA & KRUCKEN, 2004).

A gestão do design, bem como o design em si, é uma atividade multidisciplinar, que não diz respeito apenas aos designers. Ela se propõe a fazer esta aproximação entre o

⁴ DYER, J.H., **Collaborative Advantage: Winning through Extended Enterprise Supplier Networks**. Oxford: Oxford University Press, 2000.

design e outras áreas, como a de engenharia e de técnicas de gestão empresarial, (...) (GOMES et al., 2010).

Mozota (2011) desenvolveu um modelo de gestão de design onde descreve três níveis de tomada de decisão, a partir do modelo definido na tese de Patrick Hetzel (1993)⁵, que coincidem com os três níveis de criação de valor por intermédio do design: ação de design, função de design e visão de design.

Gomes et al. (2010) apresentam uma adaptação quadro com os três níveis de gestão do design descritos por Mozota antes adaptado por Martins (2004, p. 112)⁶.

Quadro 1 - Cadeia de valor do design nas organizações: os 3 níveis da Gestão do Design.

Nível Operacional	Nível Tático	Nível Estratégico
Ação	Função	Visão
Diferenciador	Coordenador	Transformador
Competência econômica que age sobre as principais atividades da cadeia de valor	Competência controladora que atua sobre as atividades suporte da cadeia de valor	Competência psicológica que atua na cadeia de valor do procedimento e a compreensão pela empresa de seu ambiente
Marketing, produção, comunicação	Estrutura, gestão da tecnologia e da inovação	Estratégia, gestão do conhecimento

Fonte: Gomes et al. (2010)

É notória a relação entre os conceitos que norteiam o design colaborativo e a gestão do design com a administração. Chandor, Graham e Willianson (1977) apresentam um esquema para o exame de sistemas de planejamento e controle descrito em três partes: planejamento estratégico, controle administrativo e controle operacional, as quais descrevem a hierarquia dentro de uma empresa e suas aplicações em planejamento e controle. A figura 21 apresenta o esquema hierárquico de Chandor,

⁵ HETZEL, P. **Design management et Constitution de l'Offre**. Thèse de Doctoral Sciences de Gestion. Université Jean Moulin Lyon, Lyon, 1993.

⁶ MARTINS, R.F.F., **A gestão de design como estratégia organizacional: um modelo de integração do design em organizações**. 202 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

Graham e Willianson (1977) (a) e os níveis de abrangência da gestão do design (Manual de Gestão do Design, 1997) (b). Os níveis de abrangência da Gestão do design explicam também a hierarquia entre os níveis de trabalho descrito por Heemann et al. (2008-a).

No trabalho organizado existe uma ordem hierárquica e coerente entre esses níveis. Neste caso, o nível de menor hierarquia é englobado pelo de maior. O inverso não ocorre. Assim, no laboro coerente, a operação é hierarquicamente englobada pela tática, que por sua vez é englobada pela estratégia. A mesma estrutura hierárquica pode ser observada no labor compartilhado: a colaboração (HEEMANN *et al.*, 2008).

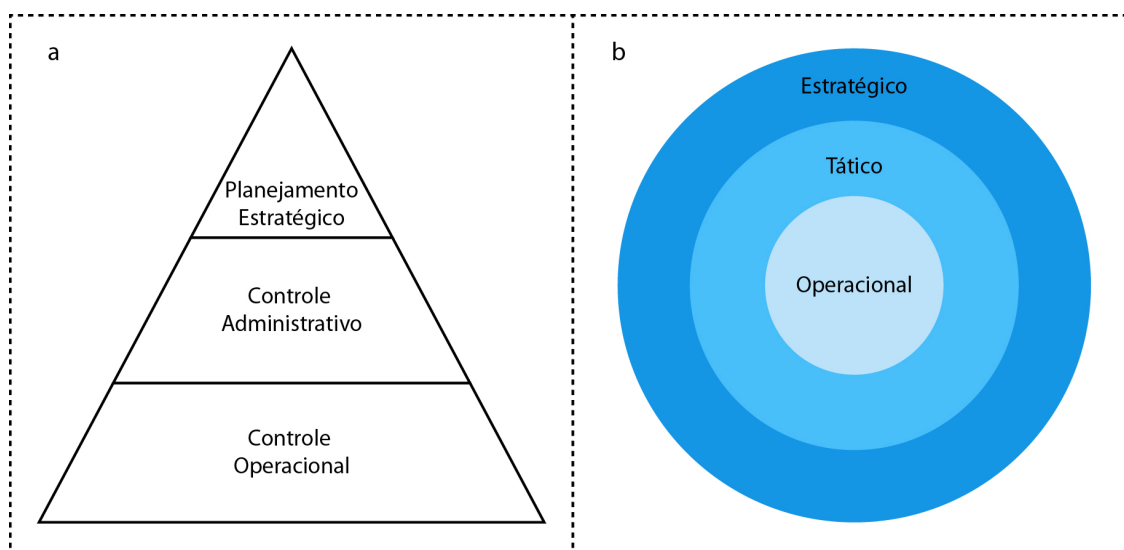


Figura 21 – a) Exame de sistemas de planejamento e controle / b) Níveis de abrangência da gestão do design.

Fonte: a) Chandor et al. (1977); b) Manual de Gestão De Design (1997)

A busca de novos métodos de gestão administrativa e gestão da produção, com foco na inovação, é uma das principais características das relações de interação para o desenvolvimento de produtos ou serviços no contexto colaborativo. A gestão do Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP), por sua vez, depende, necessariamente, da integração de informações e decisões durante todas as etapas do processo, o que só ocorre quando há integração entre as partes envolvidas. (FONTANA et al., 2012-a).

Fontana et al. (2012-a) comentam também que essa percepção colaborativa no design proporciona novas lógicas de negócios, combinando colaboração interna e externa a uma organização. Esta premissa aponta para múltiplos critérios sobre todo o ciclo de vida de um sistema e impulsiona a atividade projetual para uma interdisciplinaridade ainda mais profunda.

No entanto, alterar a perspectiva de como o design ocorre dentro de uma organização, tornando-o mais interativo entre os atores do processo, pode afetar sua estabilidade e de seus sistemas de decisão. (COUTINHO et al., 2010 apud FONTANA et al., 2012-b)⁷.

Para obter um maior controle quanto a possíveis problemas de interação entre os atores e aumentar as possibilidades de resultados positivos durante o processo colaborativo, Fontana et al. (2012-b) propõem a utilização de uma lista de fatores críticos de sucesso (FCS) para a colaboração no design, pois a análise e controle dos FCS contribuem para a tomada de decisões e a identificação de informações necessárias para que um modelo de negócio aumente suas probabilidades de sucesso. Auxiliam também a organização do processo de planejamento estratégico e o planejamento a longo prazo.

Fontana et al. (2012-b) descrevem os Fatores Críticos de Sucesso como sendo um assunto recorrente na área administrativa, possuindo diversas definições provenientes de vários autores em diversas décadas, contudo, elenca como a que melhor atende às necessidades de um processo de design colaborativo a descrita por Osório (2003)⁸:

“Informam os responsáveis pela tomada de decisões as prioridades e norteiam esforços de uma organização”.

Piirainen et al. (2009) apud Fontana et al. (2012-b) compilaram e listaram, em ordem de importância (figura 23), os Fatores Críticos de Sucesso para a colaboração no design da seguinte forma:

⁷COUTINHO et al. **8 Minutes of Collaborative Design**. 2010.

⁸ OSÓRIO, R. **CMM e Qualidade**: Estudo de caso DATAPREV. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2003.

1. **Entendimento compartilhado:** onde é necessário assegurar o entendimento compartilhado (modelos mentais do problema, estado atual do sistema e a solução vislumbrada) entre os atores do processo de colaboração no design de um produto;
2. **Qualidade satisfatória:** onde se deve alcançar resultados positivos quanto à qualidade estipulada equilibrando necessidades e limitações individuais dos atores ao fazerem escolhas no processo de design colaborativo;
3. **Equilíbrio entre rigor e relevância:** onde é necessário equilibrar o rigor dos métodos de design com a relevância da participação dos atores no processo;
4. **Organização da interação:** onde é imperativo organizar todo o processo de modo eficaz a fim de garantir a interação entre os atores, atingindo a racionalidade no processo e encontrando formas e meios para alcançar os objetivos do projeto de maneira efetiva;
5. **Garantia da propriedade:** onde se deve garantir à organização detentora do projeto, dentro do processo colaborativo, a implementação do projeto com a transferência de sua propriedade.



Figura 22 – Os cinco FCS para a colaboração no design.
Fonte: Fontana et al. (2012-b)

Ainda que com a percepção de um processo intuitivo, o projeto colaborativo deve ser controlado para se atingir o objetivo comum ao qual o projeto se baseia. Deste modo, o processo de colaboração interdisciplinar e todas as suas dimensões, também identificadas como níveis de trabalho humano (estratégico, tático e operacional), deverão ser permeadas pelos FCS para o design colaborativo, norteando as interações e tomadas de decisão, conforme é apresentado na figura a seguir. (FONTANA et al., 2012-b).

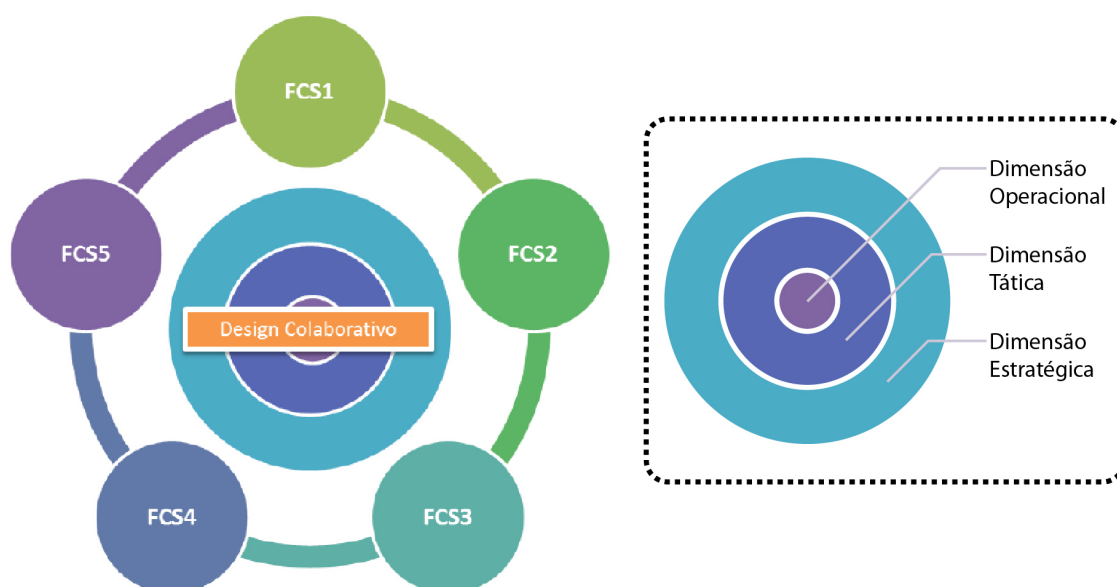


Figura 23 – FCS permeando o design colaborativo em todas as suas dimensões.
Fonte: Fontana et al. (2012-b)

A consolidação de práticas colaborativas no campo do design encontra barreiras em sua própria concepção tradicional, contudo, argumenta-se que estruturas podem trazer resultados positivos efetivos aos que a utilizam dotando-as de competitividade e flexibilidade frente a novos desafios (FONTANA et al., 2012-a).

2.8 Considerações a respeito da literatura

Os temas abordados neste capítulo englobam todos os aspectos para o embasamento e desenvolvimento, especialmente da fase inicial, desta pesquisa, explorando temas que denotam a viabilidade das ideias, para então se utilizar do processo de design com o intuito de se concretizar os objetivos propostos (LÖBACH, 2001).

Capítulo 3 | Método de pesquisa

Este capítulo apresenta os procedimentos de pesquisa adotados para o desenvolvimento deste trabalho, cujo objeto de estudo é o desenvolvimento de um componente construtivo gerador de energia fotovoltaica, produzido pela união de conhecimentos de uma rede colaborativa, que atenda às diretrizes da sustentabilidade em seus âmbitos: social, ambiental e econômico.

3.1 Caracterização da abordagem da pesquisa

Por sua natureza, esta pesquisa caracteriza-se como pesquisa aplicada, pois busca solucionar problemas específicos e gerar conhecimentos para aplicação prática, propõe-se ainda a resolver os problemas de modo efetivo e participativo (MARCONI & LAKATOS, 2003). Segundo Gil (2008), a pesquisa aplicada tem como característica fundamental o interesse na aplicação, utilização e consequências práticas dos conhecimentos.

Considerando os objetivos da pesquisa, esta se caracteriza como exploratória, pois pretende aprofundar-se no problema com o intuito de levantar possibilidades para solucioná-lo por intermédio do levantamento bibliográfico e das informações compartilhadas pelo grupo de colaboração (SILVA, 2005). Em relação aos procedimentos técnicos, mostra-se, em geral, como pesquisa-ação, uma vez que deverá colocar hipóteses em prática, gerando ações que findarão na resolução de um problema, especialmente demandado pela colaboração do atores envolvidos (TÁLAMO & CARVALHO, 2012; GIL, 2008).

3.2 Métodos e procedimentos

3.2.1 Pesquisa-Ação

A pesquisa-ação é um método de pesquisa qualitativa, podendo ser empregada a fim de que o pesquisador aprofunde seus conhecimentos acerca de um fenômeno e estabeleça questões de pesquisa mais pertinentes (MELLO et al., 2012). KRAFTA et al. (2009) destacam a pesquisa-ação como um tipo de pesquisa social com base empírica, concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou a resolução de um problema coletivo e na qual pesquisadores e participantes estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo. Descreve ainda, como um método de condução de pesquisa aplicada, orientada para elaboração de diagnósticos, identificação de problemas e busca de soluções (KRAFTA et al., 2009; TÁLAMO & CARVALHO, 2012).

Na pesquisa-ação, o termo pesquisa refere-se à produção do conhecimento e o termo ação, à uma modificação intencional de uma dada realidade. É a produção de conhecimento guiada pela prática, onde pode ocorrer a modificação de uma dada realidade como parte do processo de pesquisa (GIL, 2008). Sua aplicação é apropriada para descrever o desdobramento de uma série de ações ao longo do tempo em um dado grupo, comunidade ou organização (TRIPP, 2005). Para que uma pesquisa seja

qualificada como pesquisa-ação é necessário que ocorra uma ação por parte das pessoas ou grupos implicados no problema sob observação (MELLO et al., 2012). A pesquisa-ação busca criar conceitos e teoria a partir da estruturação de redes de colaboração, aproximando ação e pesquisa (TÁLAMO & CARVALHO, 2012).

Embora a pesquisa-ação tenda a ser pragmática, ela se distingue claramente da prática e, embora seja pesquisa, também se distingue claramente da pesquisa científica tradicional, principalmente porque a pesquisa-ação ao mesmo tempo altera o que está sendo pesquisado e é limitada pelo contexto e pela ética da prática (TÁLAMO & CARVALHO, 2012).

De modo abrangente, a literatura caracteriza da pesquisa-ação como um método cíclico. Mello et al. (2012), baseados nos trabalhos de quatro autores, constituíram uma sequência na qual cada ciclo acontece em cinco fases:

- planejar;
- coletar dados;
- analisar dados e planejar ações;
- implementar ações; e
- avaliar resultados e gerar relatório.

Conduzindo para uma próxima etapa de coleta de dados sucessivamente. Sobre esta ótica, cada ciclo é determinado por três ações principais:

- observar;
- pensar; e
- agir.

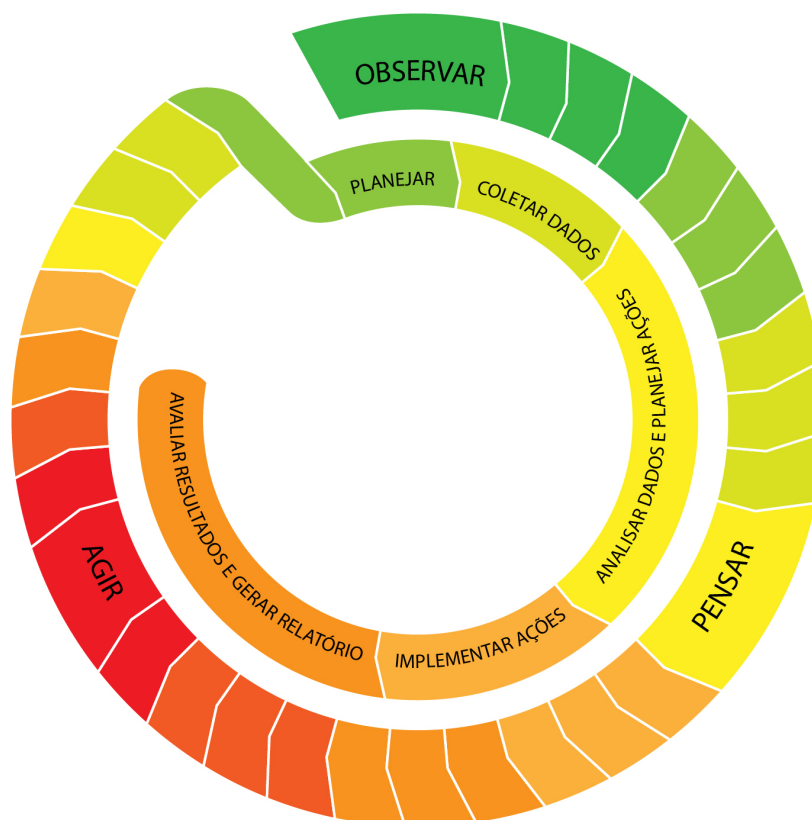


Figura 24 – O ciclo e as fases da pesquisa-ação

Fonte: O autor (2013)

Mello et al. (2012) ainda propõem um ciclo de melhoria e aprendizagem que pode ocorrer em todas as fases de um ciclo da pesquisa-ação. Os autores destacam sua importância nas diversas fases do processo de pesquisa, mas que no entanto não se trata de uma nova proposta de condução da pesquisa-ação.

Segundo os autores, o ciclo de melhoria e aprendizagem pode ser considerado uma adaptação do ciclo PDCA (*plan-do-check-act*) e é composto de quatro etapas:

- Planejar (P);
- Implementar (I);
- Observar e avaliar (O&A); e
- Refletir & agir (R&A).

O ciclo de melhoria e aprendizagem é operacionalizado por meio de reuniões entre os pesquisadores e os participantes da organização. Todas as informações coletadas são

discutidas e interpretadas e os resultados devem ser registrados para garantir o aprendizado (MELLO et al. 2012).

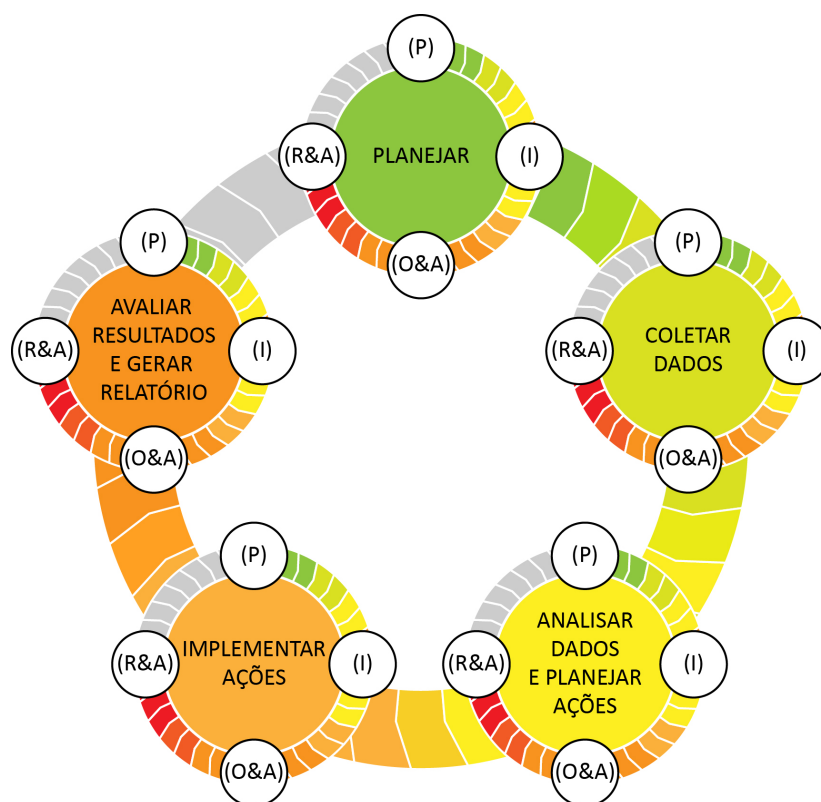


Figura 25 – Ciclo de melhoria aplicado a cada uma das fases do ciclo de pesquisa-ação
Fonte: O autor (2013)

3.2.2 Definição dos Atores Participantes na Pesquisa

A colaboração se caracteriza quando diversos atores reúnem e compartilham seus conhecimentos a fim de encontrar soluções para o desenvolvimento e a produção de um produto que satisfaçam a todos os interessados (HEEMANN et al., 2008-a). O foco desta pesquisa é o desenvolvimento de um componente construtivo gerador de energia. Estão pré-definidos a utilização de RCD para sua estrutura e o encapsulamento de células fotovoltaicas em sua estrutura.

A produção de componentes construtivos geradores de energia fotovoltaica e a utilização de RCD, na construção civil brasileira, ainda são tecnologias pouco exploradas e carentes de informações. A partir desta consideração foram selecionados

os atores da rede colaborativa que deverá desenvolver e produzir o componente construtivo em questão.

Cada um dos atores possui conhecimentos muito distintos e específicos para cada uma das etapas às quais este projeto se propõe. E mesmo que a atuação, eventualmente, possa ser independente em algumas das etapas, o compartilhamento de expertises é fundamental para que estas sejam executadas com excelência e, para que não se encontre incoerências no decorrer do desenvolvimento.

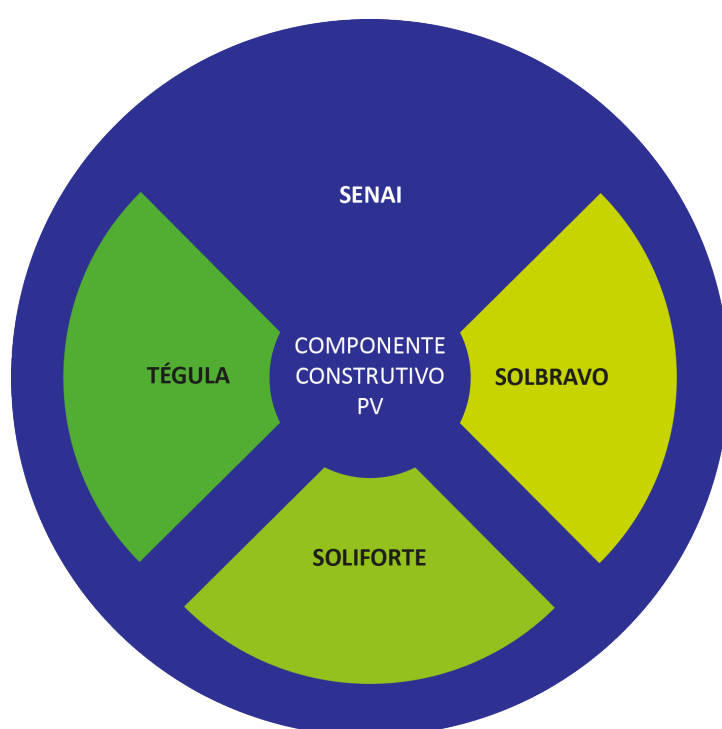


Figura 26 – Elenco de atores do grupo de colaboração
Fonte: O autor (2013)

SENAI

O Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), integrante do Sistema Indústria – ao lado da CNI, do SESI e do IEL) atua no desenvolvimento da educação profissional, na prestação de serviços tecnológicos e no desenvolvimento de inovações na indústria brasileira. Tem como finalidade de atender a demanda por mão de obra qualificada, treinamentos, consultoria, desenvolvimento de pesquisas dentre outros.

Desde que foi criado, em 1942, o SENAI formou mais de 55 milhões de profissionais. Atualmente, a instituição possui 809 unidades operacionais móveis e fixas no país oferecendo cursos de aprendizagem profissional, ensino técnico de nível médio, formação superior e de pós-graduação, que preparam trabalhadores para 28 áreas industriais (SENAI, 2013).

Em parceria com o Ministério das Relações Exteriores do Brasil, o SENAI opera centros de treinamento de mão de obra em Cabo Verde, Guiné Bissau, Guatemala, Paraguai e Timor Leste e está implantando centros de formação profissional em Moçambique, Peru, Jamaica, São Tomé e Príncipe e Haiti. Também mantém uma rede certificada de 208 laboratórios que prestam serviços técnicos e tecnológicos às empresas em todo o país. Em 2011, essa rede prestou serviços a mais de 18 mil empresas. Foram realizados 139.149 serviços para apoiar a inovação e o desenvolvimento tecnológico da indústria (SENAI, 2013).

O SENAI possui o maior complexo de Educação Profissional Tecnológica e de Tecnologia Industrial e Inovação do Paraná, o que o torna referência no apoio ao desenvolvimento da indústria do Estado. Possui 40 unidades distribuídas em todo estado e mantém Centros Nacionais de Tecnologia nas mais diversas áreas de atuação industrial. (SENAI, 2013).

Atua neste projeto como gestor das informações e ações efetivas, ou seja, um centralizador que solicita e direciona discussões e atividades que devem ser implementadas por seu corpo técnico e pelos atores do grupo de colaboração. Isto se baseia em uma de suas atividades de fomento e desenvolvimento tecnológico para as indústrias brasileiras, para fomento de projetos com valor de até 1 milhão de Reais, dos quais o Senai financia até 80%. Além do corpo técnico da instituição, até 3 pesquisadores podem estar envolvidos exclusivamente com o projeto, por meio de bolsas de desenvolvimento tecnológico cedidas pelo CNPq. (PAROLIN, 2010).

Solbravo

A Solbravo Desenvolvimento de Tecnologias Sustentáveis S/A é uma empresa de pequeno porte focada no desenvolvimento de tecnologias de integração da energia solar fotovoltaica no ambiente construído. A empresa surgiu em agosto de 2010 na cidade de Curitiba/PR, havendo instalado a sua primeira sede na Incubadora Tecnológica de Curitiba – INTEC, entidade vinculada do Instituto de Tecnologia do Paraná – TECPAR.

Em 2011 a empresa firmou um Protocolo de Cooperação Técnica com o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (DOU 22_11_2011 - Pág. 15 - Seção 3 - Diário Oficial da União), o qual possibilitou a contratação de bolsistas pesquisadores para o desenvolvimento e teste de protótipos de telhas solares residenciais providas de células fotovoltaicas encapsuladas. O resultado deste processo gerou a primeira patente da empresa, depositada no Instituto Nacional de Propriedade Intelectual (INPI) em agosto de 2012. No final do mesmo ano, a empresa transferiu a sua sede para a cidade de Pinhais/PR, onde iniciou a instalação da sua primeira fábrica para a produção de telhas residenciais com tecnologia fotovoltaica. Até o momento, a empresa ainda não possui nenhum produto lançado no mercado (SOLBRAVO, 2013).

A participação da empresa Solbravo nesta pesquisa ocorrerá na fase de desenvolvimento, fornecendo tecnologia e as células fotovoltaicas para os testes, e também na produção, encapsulando as células e finalizando o produto.

Soliforte

A Soliforte Reciclagem Ltda. iniciou suas atividades em 2006, por meio da instalação de uma usina de processamento de resíduos da construção civil. Esta atividade pioneira, na região metropolitana de Curitiba, iniciou seus serviços de moagem e peneiramento de resíduos de composição cerâmica e de composição cimentícia. Atualmente, possui capacidade de processamento de 6.000 m³/mês de resíduos.

A partir do processamento de resíduos é possível produzir agregados artificiais como areia, pedrisco, pedra brita e rachão com especificações técnicas definidas pela NBR 15116/04, para que sejam novamente utilizados pelo setor da construção civil.

Além do benefício ambiental, comparativamente aos agregados naturais os agregados reciclados apresentam vantagens competitivas como menor custo de venda, menor distância de transporte até o ponto de consumo, menor consumo energético para sua produção e grande retorno socioambiental.

Em novembro de 2011, a Soliforte passou a produzir blocos pré-moldados de concreto utilizando seus agregados reciclados, inserindo no mercado, pré-moldados inovadores e sustentáveis (SOLIFORTE, 2013).

Para o presente projeto, irá fornecer o RCD com composição estável da mistura para a pesquisa e desenvolvimento do produto.

Tégula

Em 1978 o grupo Eternit fundou a Tégula e iniciou atividades de produção e comércio de telhas de concreto, um segmento inédito no Brasil até então. Hoje a Tégula é a maior fabricante de telhas de concreto no Brasil com seis fábricas no país e detém 30% deste mercado, segundo informações do grupo Eternit (ETERNIT, 2013). A empresa trabalha atualmente com cinco diferentes perfis de telha, oferece ainda um conjunto completo de produtos essenciais para o telhado e sistemas de aquecimento solar.

A Tégula busca implementar ações sustentáveis em suas atividades e produtos, investindo em todas as suas fábricas nos mais modernos programas de controle e monitoramento, dentro dos padrões internacionais de conservação ambiental. Possui um dos maiores conjuntos de painéis solares instalados na América Latina, com 600 unidades em funcionamento na unidade de Atibaia, que faz uso deste recurso em

substituição ao combustível fóssil para aquecer as câmaras de cura.

Como fabricante de produtos a base de concreto, atuará neste projeto auxiliando nas definições de viabilidade produtiva de componentes produtivos geradores de energia fotovoltaica que utilizem RCD em sua composição em substituição à areia (TÉGULA, 2013).

3.2.3 Etapas da Pesquisa

A pesquisa se desenvolverá em cinco ciclos de pesquisa-ação, que descrevem o processo de desenvolvimento de produto por intermédio da colaboração, e são necessários para a validação desta pesquisa.



Figura 27 – Fases do desenvolvimento da pesquisa
Fonte: O autor (2013)

Cada ciclo de pesquisa aborda uma temática contemplando as cinco fases descritas na pesquisa-ação. Para alcançar os resultados, se faz necessária a participação dos integrantes do grupo de colaboração e, para se obter um maior controle quanto a possíveis problemas de interação entre os atores e aumentar as possibilidades de resultados positivos durante o processo colaborativo, são analisados os fatores críticos de sucesso (FCS) para a colaboração no design.

3.3 Análise

Nesta fase as informações de todos os ciclos constituem um documento que serve de base para a validação do método. Para cada um dos ciclos são descritas as informações das cinco fases de desenvolvimento. Contempla ainda a participação de cada um dos atores, suas observações e ações, e o relato de problemas ocorridos durante o processo de desenvolvimento.

3.4 Validação dos resultados

Mello et al. (2012) destacam que a pesquisa-ação deve ser pautada na confiabilidade e validade, características que mensuram sua qualidade ou rigor científico. O autor elenca seis critérios para avaliar a validade e confiabilidade da pesquisa-ação sob o paradigma do realismo: adequação ontológica, validade contingente, percepções múltiplas de participantes e pesquisadores associados, fidedignidade metodológica, generalização analítica e validade do construto. O quadro 2 apresenta os detalhes para o emprego desses seis critérios.

Quadro 2 - Critérios para validação da Pesquisa-Ação (MELLO et al., 2010)

Critério	Objetivo do critério e medidas aplicadas	Fase da pesquisa utilizada	Medidas aplicadas na pesquisa
1. Adequação ontológica	O problema de pesquisa lida com o complexo fenômeno das ciências sociais envolvendo pessoas conscientes. Demonstra que o mundo que está sendo investigado é criação independente de mentes e criaturas vivas ou do mundo de ideias, arte, ciências, linguagens, ética e instituições.	Projeto da pesquisa e análise de dados.	Formulação adequada da questão de pesquisa; uso da teoria prévia; fundamentação teórica; projeto da pesquisa-ação; triangulação de dados; desenvolvimento da base de dados da pesquisa e de evidências para avaliação.
2. Validade contingente	Estabelece a validade sobre mecanismos generativos que são denominados e descobertos pela pesquisa e os contextos que os tornam contingentes (eventuais).	Projeto da pesquisa e análise de dados.	Projeto da pesquisa-ação; detalhes das circunstâncias organizacionais e do principal contexto do projeto da pesquisa-ação; desenvolvimento da base de dados da pesquisa e de evidências para avaliação.
3. Percepções múltiplas de participantes e pesquisadores associados	Demonstra como a pesquisa revela o mundo real, embora de uma forma que seja apenas imperfeita e probabilisticamente compreensível. O foco está na sensibilização dos valores da pesquisa.	Projeto da pesquisa, coleta e análise de dados, posterior análise de dados.	Fontes de dados múltiplas; apresentação de evidências de apoio; questionamento amplo em entrevistas antes das questões exploratórias; triangulação de dados; consciência dos valores próprios e seu impacto na coleta de dados; revisão por pares.
4. Fidedignidade metodológica	Estabelecimento de um relatório que possa ser avaliado.	Projeto de pesquisa, coleta e análise de dados.	Desenvolvimento da base de dados da pesquisa e de evidências para avaliação; uso frequente de citações relevantes no relatório para fundamentar a construção da teoria; descrições de procedimentos com detalhes de datas, respondentes e tempo.
5. Generalização analítica	Estabelecimento da primazia da construção da teoria no relatório.	Projeto de pesquisa, coleta e análise de dados.	Identificação das questões de pesquisa antes da coleta de dados; desenvolvimento da teoria por meio da triangulação de dados; não utilização de técnicas quantitativas.
6. Validade de construto	Determina quão bem os construtos na teoria que está sendo construída são mensuráveis pela pesquisa.	Projeto de pesquisa, coleta e análise de dados.	Fundamentação teórica; entrevistas com especialistas de diferentes áreas; desenvolvimento e uso de protocolos de entrevistas; avaliação de publicações e documentos de origem interna das empresas; desenvolvimento de uma base de dados detalhando o encadeamento de evidências; devolutivas das transcrições das entrevistas aos informantes para confirmação e comentários; revisão das versões rascunho do relatório pelos pares.

Fonte: O autor (2013)

3.5 Protocolo de pesquisa

Quadro 3 - Protocolo de pesquisa

Objetivo geral	Viabilizar o desenvolvimento e a produção de componentes construtivos fotovoltaicos a partir de resíduos de construção e demolição, com a colaboração de diversas empresas.			
Objetivos Específicos	Ferramentas	Pontos de análise	Desdobramento	Instrumentos de coleta de dados
Estruturar uma cadeia colaborativa para a produção de ao menos um componente construtivo fotovoltaico. A cadeia consistirá em compartilhamento de informações, treinamento e repasse de tecnologia entre os participantes.	PDP	Grau de interação dos atores / Fatores Críticos de Sucesso	Com o grau de interação pode-se aumentar ou diminuir o risco de sucesso no desenvolvimento do produto; Um grau elevado de interação diminui o risco de conflito entre os atores; Um baixo grau de interação pode gerar conflitos, falta de objetividade, desinteresse e insucesso.	Pesquisa de campo
Desenvolver uma massa a partir de RCD com as características físicas que garantam a produção dos componentes construtivos de acordo com os requisitos elencados por especialista da área da construção civil;	Análise de variância	RCD x Dosagem x Tempo x Resistência mecânica e termodinâmica. RCD <ul style="list-style-type: none">- Base preponderante em resíduos cerâmicos;- Base preponderante em resíduos de concreto. Aglutinante. <ul style="list-style-type: none">- Cimento;- Resina.	Análise multivariada para encontrar a mistura ótima de acordo com o produto selecionado, garantido a este a resistência necessária de acordo com a sua aplicação.	Amostras / Combinação
Desenvolver componentes construtivos geradores de energia a partir de células fotovoltaicas agregadas à sua estrutura constituída de RCD + aglutinante;	PDP / Gestão de Processos	Arquitetura do produto: <ul style="list-style-type: none">- Componente construtivo;- Célula PV;- Sistema elétrico;	Seleção em acordo com o levantamento junto ao grupo de colaboração, características e propriedade específicas;	Consulta / Questionários
		Análise de similares.	Análise comparativa entre os produtos existentes no mercado e o produto objeto da pesquisa;	Pesquisa de campo
		Geração de alternativas	Várias possibilidades resultantes dos critérios estabelecidos nas fases anteriores;	*Execução
		Gerar modelo virtual em CAD;	Modelagem dos componentes do produto / Detalhamento dos componentes e do conjunto / Simulação de montagem e desmontagem do produto / Simulação de funcionamento do produto / Análises mecânicas e termodinâmicas.	*Execução
		Protótipo.	A partir do modelo virtual gerado em CAD, serão gerados modelos físicos por meio de usinagem.	*Execução
		Análise de propriedades físicas	A partir da produção do protótipo, executar teste necessários para viabilizar a utilização do produto.	*Execução
* Fase executiva.				

Fonte: O autor (2013)

Capítulo 4 | Ciclos Da Pesquisa-Ação

Este capítulo expõe a descrição dos procedimentos executados nesta pesquisa sob a ótica da Pesquisa-ação, considerando dentro de cada ciclo a análise dos elementos propostos por esta ferramenta e também a inclusão da análise os fatores críticos para o sucesso do grupo de colaboração.

4.1 Primeiro Ciclo – Estruturação do projeto do produto

O primeiro ciclo proposto tem como objetivo estruturar o projeto do produto dependendo diretamente da participação de cada um dos atores do grupo de colaboração. Para tanto, considerou-se nesta etapa a contribuição material de cada participante no desenvolvimento da pesquisa:

- a. Componente construtivo telha (contribuição da empresa Tégula);
- b. Conjunto de células fotovoltaicas (contribuição da empresa Solbravo);
- c. Origem do material RCD (contribuição da empresa Soliforte);

d. Infraestrutura e ferramentas de trabalho (disponibilizado pelo SENAI).

A seleção destes fatores é elencada em um único ciclo pois, ocorre de forma concorrente, ou seja, cada elemento pode interferir na seleção de outro, de acordo com suas características (TÁLAMO & CARVALHO, 2012). Uma síntese do primeiro ciclo de colaboração é apresentada na Figura 28.

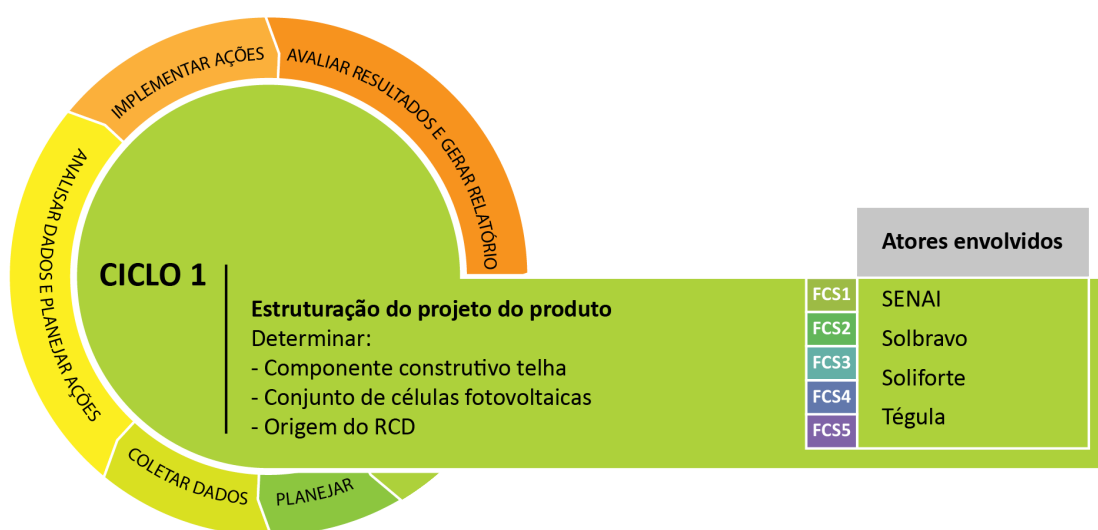


Figura 28 – Primeiro ciclo de pesquisa
Fonte: O autor (2013)

4.1.1 Seleção do componente construtivo

A princípio, qualquer elemento construtivo que fique exposto à irradiação solar é passível, por meio de implementações, resultar em um produto gerador de energia pelo efeito fotovoltaico, contudo, a seleção teve início a partir da análise dos componentes construtivos, baseados em concreto, produzidos pela Tégula. O rol de produtos fabricados e comercializados pela Tégula é amplo e elenca: telhas de concreto, telhas onduladas a base de fibra de PVA, madeira certificada, domus e aquecedor solar (TÉGULA, 2013).

Partindo da premissa deste projeto, de viabilizar um elemento construtivo gerador de energia fotovoltaica, produzido a partir de resíduos de construção e demolição, foram

selecionadas as telhas de concreto. Observou-se que os demais produtos disponíveis no catálogo da empresa Tégula, possuem alguma restrição quanto à utilização do RCD ou dificultam a aplicação de células fotovoltaicas, tais como peso, resistência, superfícies onduladas ou que formam sombras em determinadas áreas, elementos maleáveis que restringem as opções dos tipos de células a serem aplicadas de acordo com sua eficiência, custo e método de aplicação. Os modelos de telhas de concreto produzidas pela Tégula são variados e apropriados a diversas aplicações. Os formatos disponíveis diferenciam-se pela estética e resistência a impactos e peso suportado em sua superfície (TÉGULA SOLUÇÕES PARA TELHADO, 2012).

Para se reduzir ao máximo a interferência na linha produtiva da empresa, a produção da telha fotovoltaica deverá, na medida do possível, adequar-se aos moldes e equipamentos que já são utilizados, com o mínimo de alterações possíveis (TÉGULA, 2013).



Figura 29 – Telhas de concreto comercializadas pela Tégula
Fonte: Tégula (2013)

Para cumprir os requisitos de aplicação de células fotovoltaicas, que necessitam ser aplicadas em uma superfície plana e rígidas, o modelo “Plana” apresenta-se como mais apropriado. Em um primeiro momento, foram eliminados os modelos “Double S” e “Coppo de Grécia”, permanecendo para análise o modelo “Tradição”, no entanto seria necessária uma alteração nas ferramentas da extrusora, para a superfície mais elevada tornar-se plana, a fim de se produzir uma área apropriada para aplicação das células fotovoltaicas. Mesmo com as diversas possibilidades de se implementar esta alteração, o resultado demandaria a utilização de novos moldes para a base, sendo que estes

seriam utilizados somente para a produção das telhas fotovoltaicas. Seria possível ainda evitar a necessidade de se utilizar novos moldes para a base, que resultaria em uma área muito pequena para aplicação das células, redução muito grande no perfil de concreto e ainda a necessidade de se fresar as telhas após a produção, devido à impossibilidade de se produzir um perfil variável na extrusora.

A partir da seleção da telha plana, a produção atual da empresa sofreria baixo impacto, considerando que o molde para a base permaneceria o mesmo já utilizado para a telha plana, necessitando somente desenvolver um novo conjunto de ferramentas para a extrusora (Apêndice 2) que permitirá produzir a superfície da telha com um rebaixo em sua área central, onde serão aplicadas as células fotovoltaicas.

4.1.2 Seleção do tipo de célula fotovoltaica

Conforme visto no Capítulo 2, dentre as diversas opções de células fotovoltaicas disponíveis no mercado, as de silício policristalino, apesar de sua baixa eficiência, destacam-se principalmente por seu baixo custo e vida útil, que pode atingir 30 anos ou mais. Ao considerar o desenvolvimento de um componente construtivo que poderá substituir outro convencional, agregando a vantagem de gerar energia, o apelo da função adicional poderá não ser suficiente caso o custo do produto final seja muito elevado (RÜTHER, 2004; PARIDA et al., 2011; TORRES, 2012; GREENPRO, 2004).

A escolha pelo modelo de silício policristalino, além de seu custo inferior, comparada aos outros tipos de células fotovoltaicas, ocorre ainda pelo fato da empresa Solbravo, integrante do grupo de colaboração, possuir o conhecimento sobre seus métodos de aplicação e utilizá-las em sua linha produtiva (FREITAS et al., 2012).

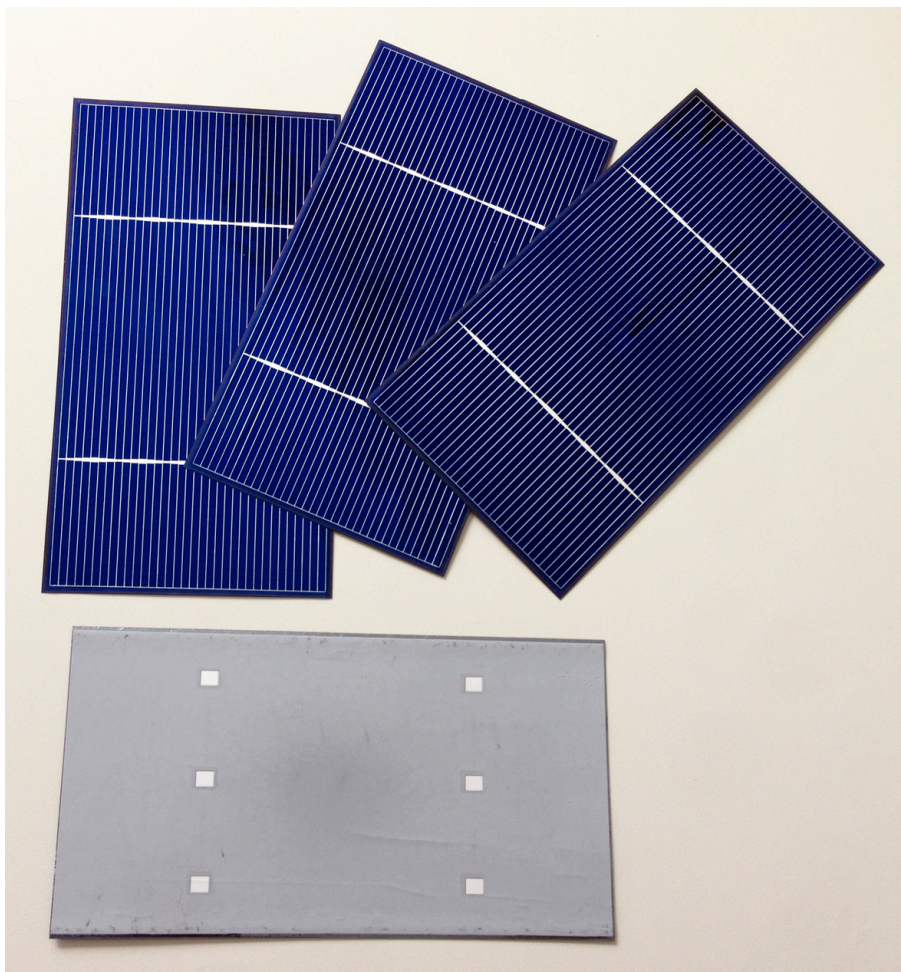


Figura 30 – Células de silício policristalino fornecidas pela Solbravo
Fonte: O autor (2013)

4.1.3 Seleção da origem do RCD

Os Resíduos de Construção e Demolição (RCD), por sua própria origem, apresentam traços de variados compostos (CABRAL & MOREIRA, 2011). Contudo, a empresa Soliforte faz as seleções dos resíduos antes de serem triturados, atingindo em seus produtos comercializados, elevado grau de estabilidade (SOLIFORTE, 2013).

Levando em conta que as telhas de concreto produzidas pela Tégula utilizam areia média e areia fina em sua composição, a determinação do tipo de resíduo mais adequado para a produção das telhas fotovoltaicas deve possuir um traço mais semelhante possível com a areia de cava. Dessa forma, dentre os resíduos

comercializados pela Soliforte, a seleção se deu pela areia proveniente de resíduos de argamassa e concreto.



Figura 31 – Areia proveniente de RCD triturados
Fonte: Soliforte (2013)

4.1.4 Análise do processo colaborativo no primeiro ciclo

Neste primeiro ciclo de pesquisa, todos os atores participaram e contribuíram, a fim de se definir e compreender o produto a ser desenvolvido. Com a definição do modelo de telha, a Tégula disponibilizou quantas telhas fossem necessárias para a pesquisa e demais informações relevantes sobre as características da telha Plana e seu processo produtivo.

A empresa Solbravo participou ativamente no estudo de viabilidade do produto e na definição do tipo de célula a ser utilizado, transferindo o conhecimento adquirido no mercado. Também disponibilizou as células e todos os materiais a serem utilizados para as interligações e encapsulamento das células. A empresa Soliforte se disponibilizou todo o material necessário para o desenvolvimento dos protótipos e orientou a escolha do tipo de RCD a ser utilizado, de acordo com sua experiência e conhecimento. Ao SENAI coube receber os materiais para a pesquisa em seus laboratórios.

4.2 Segundo Ciclo – Concreto a partir de RCD

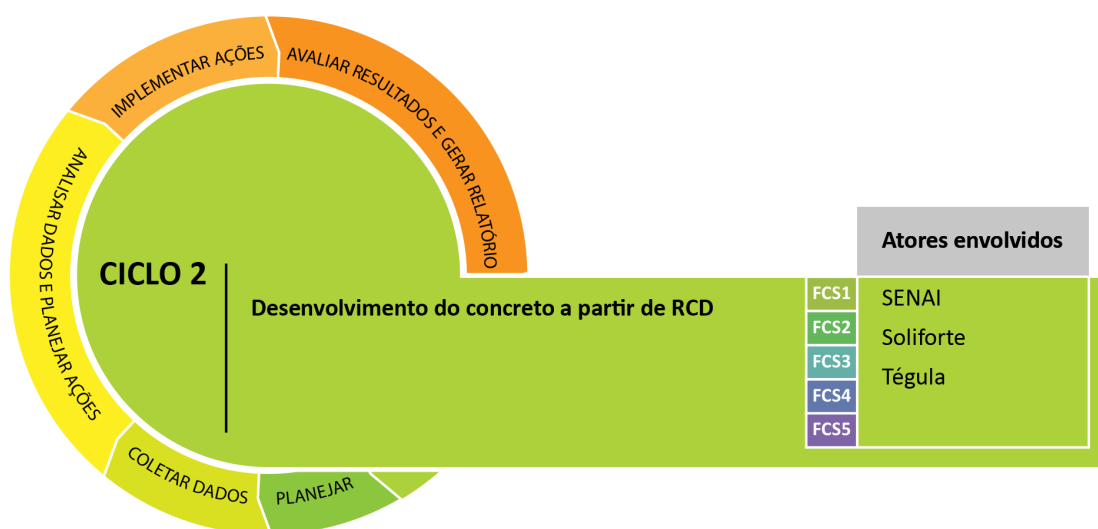


Figura 32– Segundo ciclo de pesquisa
Fonte: O autor (2013)

O segundo ciclo trata do desenvolvimento do concreto composto de RCD, que deve apresentar características de resistência próxima aos materiais utilizados tradicionalmente, ou suficiente para os produtos que serão selecionados para os testes e para a produção (PATRICIO et al., 2013).

O primeiro teste para se verificar a viabilidade do concreto a partir de RCD foi efetuado desenvolvendo traços com agregados de RCD para serem comparados ao concreto tradicional, com areia de cava. Segundo Fernandes (2012), o traço é a indicação das proporções entre os materiais empregados na confecção do concreto ou argamassa. Ele toma como base o cimento, que no traço será sempre representado pela unidade 1 (um). Os demais componentes do traço são expressos em proporções relativas ao cimento, podendo ser representados pela massa ou pelo volume dos materiais (FERNANDES, 2012).

Para os ensaios, utilizou-se RCD para os corpos de prova T2, T3, T4 e T5 e areia para T1, sendo que este foi o corpo padrão referencial, com a formulação do traço aproximada à utilizada em produção por grande parte dos fabricantes de telhas de

concreto no Brasil (FERNANDES, 2012).

O RCD utilizado em T2 e T3 e a areia utilizada em T1 passaram por um processo de secagem em estufa para se retirar toda a umidade. Apenas T4 e T5 utilizaram RCD com o teor de umidade com que foram coletados na usina da Soliforte e posteriormente acondicionado nas dependências do laboratório do Senai. O RCD utilizado em T2 e T3 foram selecionado por sua granulometria, separando para a composição do traço, RCD médio -com grãos entre $425\mu\text{m}$ e $2,35\text{mm}$ - e RCD fino -com grãos entre $75\mu\text{m}$ e $424\mu\text{m}$ -. O material com granulometria abaixo de $74\mu\text{m}$ e acima de $2,36\text{mm}$ foi descartado. O descarte do material abaixo de $74\mu\text{m}$ deve-se ao fato de que o RCD utilizado é composto principalmente por areia, mas também possui uma quantidade de cimento triturado que, especialmente na forma de pó, pode influenciar no resultado do novo composto reduzindo a resistência do concreto. A Figura 33 mostra o agitador de peneiras eletromecânico modelo G, produzido pela Solotest utilizado para efetuar a granulometria.



Figura 33 – Granulometria utilizando peneiras de $2,36\text{mm}$, $425\mu\text{m}$ e $75\mu\text{m}$
Fonte: O autor (2013)

Para os ensaios de T4 e T5, o RCD utilizado nos corpos de prova não foi classificado quanto à medida, exceto pelos grãos superiores à 2,36mm que foram descartados.

Na composição de todos os corpos de prova, o cimento utilizado é da classe CPV-ARI e foram adicionados aditivos plastificantes Vedalit e impermeabilizantes Sika 1 em quantidade de acordo com as recomendações dos fabricantes nos rótulos dos produtos. Para cada traço elaborado, foram produzidos dois corpos de prova, para medições com 7 e 28 dias de cura (PATRICIO et al., 2013). Os traços foram constituídos pela medição do volume dos materiais.



Figura 34 – Materias separados por traço para a constituição dos corpos de prova

Fonte: O autor (2013)

Tabela 1 – Traço dosado para os experimentos com os corpos de prova referenciais

TRAÇO	CIMENTO	AREIA	ÁGUA (%)	PLASTIFICANTE (%)	IMPERMEABILIZANTE (%)
T1	1	4	14,24	0,16	1,6

Fonte: O autor (2013)

Tabela 2 – Traços dosados para os experimentos com os corpos de prova com RCD

TRAÇOS	CIMENTO	RCD		ÁGUA (%)	PLASTIFICANTE (%)	IMPERMEABILIZANTE (%)
		FINO	MÉDIO			
T2	1	0,8	3,2	14,24	0,16	1,6
T3	1	0,467	1,867	14,24	0,16	1,6
T4	1	4		14,24	0,16	1,6
T5	1	4		9,496	0,107	1,067

Fonte: O autor (2013)

Quadro 4 – Traço padrão (T1a e T1b)

Traço padrão (T1)	1; Areia ; 14,24; 0,16; 1,6	1; Areia ; 14,24; 0,16; 1,6
Data de moldagem	01/11/2013	01/11/2013
Data de ruptura	29/11/2013	29/11/2013
Tempo de cura	28 dias	28 dias
Cura	Cura úmida	Cura úmida
Cor	Natural – Sem pigmento	Natural – Sem pigmento
Quantidade de corpos de prova	1 (a)	1 (b)
Ensaio	Ruptura axial com 28 dias	Ruptura axial com 28 dias

Fonte: O autor (2013)

Quadro 5 – Traço modificado (T2)

Traço modificado (T2)	1; 0,8; 3,2; 14,24; 0,16; 1,6	1; 0,8; 3,2; 14,24; 0,16; 1,6
Data de moldagem	01/11/2013	01/11/2013
Data de ruptura	x	29/11/2013
Tempo de cura	x	28 dias
Cura	Cura úmida	Cura úmida
Cor	Natural – Sem pigmento	Natural – Sem pigmento
Quantidade de corpos de prova	1	1
Ensaio	Ruptura axial com 7 dias	Ruptura axial com 28 dias

Fonte: O autor (2013)

Quadro 6 – Traço modificado (T3)

Traço modificado (T3)	1; 0,467; 1,867; 14,24; 0,16; 1,6	1; 0,467; 1,867; 14,24; 0,16; 1,6
Data de moldagem	01/11/2013	01/11/2013
Data de ruptura	x	29/11/2013
Tempo de cura	x	28 dias
Cura	Cura úmida	Cura úmida
Cor	Natural – Sem pigmento	Natural – Sem pigmento
Quantidade de corpos de prova	1	1
Ensaio	Ruptura axial com 7 dias	Ruptura axial com 28 dias

Fonte: O autor (2013)

Quadro 7 – Traço modificado (T4)

Traço modificado (T4)	1; 4; 14,24; 0,16; 1,6	1; 4; 14,24; 0,16; 1,6
Data de moldagem	01/11/2013	01/11/2013
Data de ruptura	x	29/11/2013
Tempo de cura	x	28 dias
Cura	Cura úmida	Cura úmida
Cor	Natural – Sem pigmento	Natural – Sem pigmento
Quantidade de corpos de prova	1	1
Ensaio	Ruptura axial com 7 dias	Ruptura axial com 28 dias

Fonte: O autor (2013)

Quadro 8 – Traço modificado (T5)

Traço modificado (T5)	1; 4; 9,496; 0,107; 1,067	1; 4; 9,496; 0,107; 1,067
Data de moldagem	01/11/2013	01/11/2013
Data de ruptura	x	29/11/2013
Tempo de cura	x	28 dias
Cura	Cura úmida	Cura úmida
Cor	Natural – Sem pigmento	Natural – Sem pigmento
Quantidade de corpos de prova	1	1
Ensaio	Ruptura axial com 7 dias	Ruptura axial com 28 dias

Fonte: O autor (2013)

Os ensaios de compressão axial foram executados de acordo com a NBR 5738:2003, utilizando dois corpos de prova cilíndricos com 100 mm de diâmetro para cada traço elaborado, para medições com 7 e 28 dias de cura. No momento da execução dos testes ao sétimo dia, o equipamento do laboratório do Senai apresentou problemas, impossibilitando tais medições. Considerando que valores referenciais de resistência do concreto ocorrem com as medições aos 28 dias de cura, apenas estes valores serão apresentados no capítulo 5, os quais foram realizados no laboratório da Cassol Pré-fabricados, utilizando para os ensaios uma Prensa Elétrica Automática Servo-Controlada da fabricante Solotest. Os corpos de prova para as medições com 7 dias de cura foram descartados, exceto para T1 -corpo padrão- o qual também foi rompido aos 28 dias. Para o ensaio de compressão axial, os corpos de prova tiveram suas superfícies retificadas, tornando-as planas e perpendiculares ao eixo longitudinal conforme o

disposto na NBR 5738:2003.



Figura 35 – Prensa Elétrica Automática utilizada para os ensaios e um corpo de prova sendo prensado
Fonte: O autor (2013)



Figura 36 – Corpos de prova após os ensaios e detalhe de um dos corpos produzidos com RCD
Fonte: O autor (2013)

4.2.1 Análise do processo colaborativo no segundo ciclo

O segundo ciclo foi focado na participação da Tégula, Soliforte e SENAI, uma vez que trata de concreto, conteúdo que compreende *expertises* destas empresas.

Sabendo do desafio de se elaborar o concreto a partir do RCD, a Soliforte, que já produz e comercializa blocos de concreto, disponibilizou informações, não encontradas na literatura, para obtenção de sucesso nesta etapa. Tais informações não são apresentadas na descrição do processo pois caracterizam um diferencial na viabilidade dos resultados obtidos.

A Tégula, compreendendo que a telha fotovoltaica, baseada em seu modelo Plana, precisaria agregar as mesmas características de resistência com o RCD, expôs as características do processo de desenvolvimento do agregado de concreto, inclusive abrindo o traço de receita, para que fossem criados corpos referenciais para comparação dos resultados obtidos com o RCD, contudo, o traço utilizado é aproximado ao traço da Tégula para não expor a formulação utilizada pela empresa.

O autor juntamente com dois técnicos e um auxiliar do SENAI procederam a seleção e a preparação dos materiais, o desenvolvimento dos corpos de prova e os testes no laboratório de ensaios da unidade de construção civil do Senai, no bairro Parolin, em Curitiba. Aos sete dias de cura dos corpos de prova, verificou-se que a prensa utilizada para as medições de resistência axial do SENAI estava danificada. Não havendo tempo hábil para realizar os testes aos sete dias de cura, este teste foi cancelado. O Senai, por meio de sua rede de contatos, conseguiu que os ensaios aos 28 dias de cura fossem realizados no laboratório de ensaios da empresa Cassol Pré-fabricados, na Cidade Industrial de Curitiba.

4.3 Terceiro Ciclo – União entre células fotovoltaicas e telha

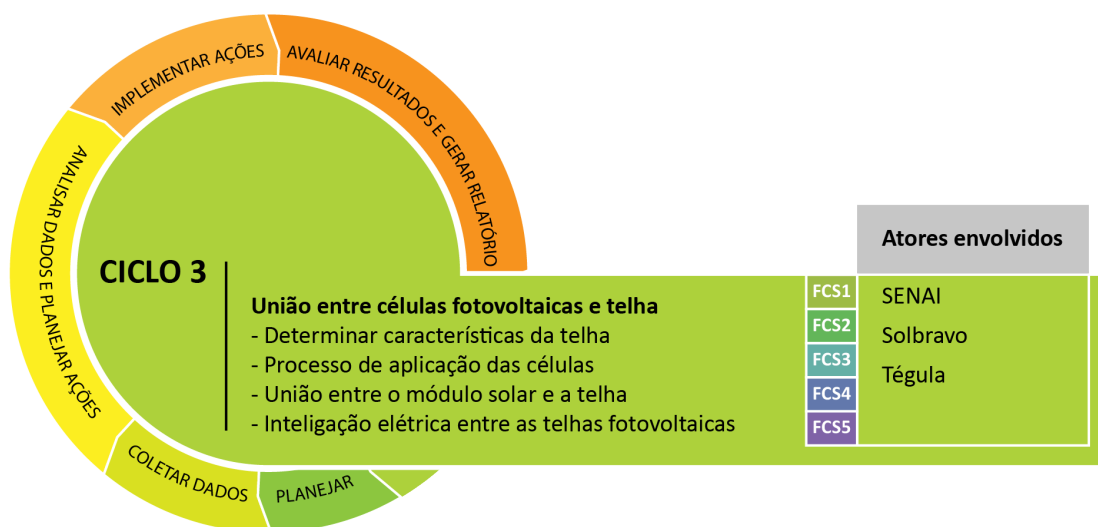


Figura 37 – Terceiro ciclo de pesquisa
Fonte: O autor (2013)

Nesta etapa buscou-se definir os meios e técnicas de integração entre as células fotovoltaicas e a telha de concreto a partir de RCD. Para tanto, foram consideradas as características das telhas e também das células fotovoltaicas, além de se levar em conta como deverá ocorrer a interligação das telhas em série por meio de cabos elétricos (SERODIO, 2009).

4.3.1 Características da telha

A telha modelo plana, da Tégula, possui uma área de superfície com 330 x 417mm, porém, como há sobreposição de parte desta área para o encaixe entre as telhas para favorecer o escoamento adequado da água da chuva, a área de exposição da superfície mede aproximadamente 300 x 320 mm (TÉGULA, 2013).

Para não obstruir o escoamento da água da chuva ou ocasionar infiltrações na área coberta pelas telhas, as células solares não podem exceder as dimensões da telha. Dessa forma, a fim de evitar grandes alterações no processo produtivo atual do

modelo da telha plana, entendeu-se que as células deverão compor a estrutura atual da telha sem exceder seus limites dimensionais, ou seja, parte da área de concreto deve ser substituída pelas células, contudo, a espessura da telha, que nas áreas menos espessas atinge 15 mm, não poderá ser ultrapassada, reservando no mínimo 8 mm de espessura, a fim de se evitar infiltrações e até mesmo o rompimento da base de concreto durante a produção, secagem, manuseio e aplicação, além disso a área estrutural da telha deve ser mantida em seu eixo longitudinal para que a telha continue a manter sua resistência com o mínimo de perda (FERNANDES, 2012).

4.3.2 Aplicação das células

As células de silício policristalino, possuem espessura de 0,3 mm e são extremamente frágeis. Para evitar que se quebrem, após se efetuar as ligações para a corrente elétrica entre as células, estas devem ser encapsuladas e protegidas por materiais de alta resistência (TORRES, 2012; PARIDA et al., 2011).

O encapsulamento é necessário para evitar a possibilidade de infiltração e de umidade junto às células, para isto, pode-se proceder a aplicação de resina fundida sobre as células, já acondicionadas na superfície do substrato da base do módulo fotovoltaico, a laminação com Teflon ou ainda com Etileno Vinil Acetato (EVA) solar e posteriormente sua soldagem em alta temperatura (PARIDA et al., 2011). Os três métodos são bastante difundidos e muito utilizados, porém, o EVA possui baixo custo, quando comparado aos outros substratos para encapsulamento (GREENPRO, 2004; PARIDA et al., 2011).

O material utilizado para o encapsulamento no protótipo desta pesquisa é o EVA fornecido pela empresa Solbravo. As células devem ser laminadas pelo material em uma câmara de vácuo com temperatura crescente. Durante este processo, o EVA derrete e protege todas as superfícies das células (GREENPRO, 2004). Durante a laminação, especialmente em seu manuseio para envolver as células e para se criar o

vácuo, as células podem quebrar. Para evitar este problema, faz-se necessário utilizar uma placa de material rígido e não condutor sob as células (GREENPRO, 2004). O material selecionado para esta pesquisa foi o PVC, com espessura de 0,9mm a partir de duas placas com 0,7mm e 0,2mm de espessura. A utilização de 2 placas justifica-se como uma proteção extra para passagem e conexões dos fire wires e tab wires, responsáveis por interligar e conduzir o fluxo de corrente elétrica gerado pelo efeito fotovoltaico, que estarão protegidos entre as duas camadas de PVC (GREENPRO, 2004; SERODIO, 2009).

Após a soldagem e ligações entre as placas e a adição das placas de PVC e o encapsulamento com EVA, sobrepostos estes materiais atingem uma espessura de aproximadamente 1,6mm. Durante as etapas do processo de união destes materiais, especialmente durante a soldagem dos fire wires sobre as células e na soldagem dos fire wires com os tab wires, podem ocorrer acréscimos na espessura, além disso, após a fusão do EVA com os materiais, o conjunto pode vergar, assim sendo, o habitáculo que acondicionará este conjunto deverá possuir 2mm livres em sua espessura para o perfeito acondicionamento das células encapsuladas (GREENPRO, 2004).

Considerando que o concreto é um material poroso que permite a passagem de umidade, as células não poderão ser aplicadas diretamente em sua superfície sem uma proteção extra. Com vista ao ciclo de vida do produto, pensando em seu descarte no futuro, para se evitar problemas com a reciclagem, optou-se por formar a telha fotovoltaica a partir de dois elementos. O concreto de base a partir de RCD, que forma a telha, e um módulo fotovoltaico independente que pode ser acoplado à telha. Esta estratégia visa facilitar o processo de desmontagem do produto após o fim da sua vida útil.

O encapsulamento completo das células fotovoltaicas resulta no pequeno módulo solar que será posteriormente acoplado à telha de concreto. A constituição de módulos solares habitualmente ocorre utilizando-se de chapas de vidro temperado, contudo, devido às características específicas deste projeto, outros materiais devem ser utilizados, especialmente pelo fato das chapas de vidro temperado formar em um

módulo com grande espessura, dificultando sua acoplagem a uma telha. Algumas das características dos vidros temperados podem ser encontradas em materiais substitutivos, sendo que as principais são a alta resistência e a transparência na camada que protege a superfície das células (GREENPRO, 2004; RÜTHER, 2004).

Para a base de um módulo fotovoltaico, além dos vidros, podem ser utilizados metais e polímeros, desde que estes suportem altas temperaturas, possuam boa resistência a impactos, não sofram corrosão ou qualquer tipo de dano pela exposição ao tempo e que ainda apresentem coeficiente de expansão térmica similar dos materiais aos quais forem combinados (GREENPRO, 2004).

Em substituição ao vidro temperado aplicado à superfície do módulo optou-se pela utilização de acrílico e do policarbonato com espessura de 2mm. Para a base, diversos materiais foram elencados, dentre os quais: acrílico, policarbonato, aço inoxidável e alumínio. Para formar a base do módulo, o material utilizado deve possuir espessura de 4mm para que no centro, em uma de suas faces, seja encravada uma área retirando 2mm de sua espessura, para o acondicionamento das células encapsuladas. Ao término destas etapas, as células devem ser acondicionadas no interior da base do módulo, já com as devidas ligações elétricas aos cabos de saída de energia, e sobre estes deve ser colada a placa transparente de 2mm de espessura, encapsulando as células e formando o módulo solar que se integrará às telhas.

4.3.3 União entre o módulo solar e a telha

Diversas possibilidades visando facilitar a união entre o módulo solar e a telha foram apontadas, priorizando principalmente formas de encaixe a fim de minimizar a utilização de insumos e de facilitar a separação para manutenção ou reciclagem.

A principal limitação encontrada especialmente para se implantar sistemas de encaixe está no processo produtivo das telhas, por extrusão, que não permite grandes

alterações na superfície da telha, nem mesmo criação de ângulos a fim de se criar arestas na área do encavo para o módulo com angulação suficiente para travá-lo em seu interior. Duas formas para fixar o módulo à telha mostram-se como as mais viáveis: a colagem, com cimento ou silicone, ou utilizando parafusos e porcas, transpassando a telha. A fixação com cimento apresenta-se como a mais viável, pois, diferente da utilização dos parafusos, evita-se qualquer possibilidade de infiltração através das telhas, contudo, no momento de uma possível manutenção, como por exemplo, a reutilização do painel e a substituição da telha em concreto, o módulo pode ser danificado no momento de sua retirada da superfície da telha.

4.3.4 Análise do processo colaborativo no terceiro ciclo

Este ciclo foi desenvolvido com maior participação direta das empresas Solbravo e Tégula, bem como o Senai. A Solbravo compartilhou seus métodos produtivos e auxiliou na escolha do método de encapsulamento, fornecendo informações relevantes sobre materiais compatíveis e o comportamento das células que implicam a seleção, com o intuito de otimizar a geração das células, uma vez que há limitações quanto à espessura do módulo para não se prejudicar a resistência estrutural da telha. Também foi inviável modificar o molde da base das telhas, considerando que estes, diferente do ferramental único da extrusora que define o design da superfície da telha, são necessários em grande quantidade para se viabilizar a produção, ou seja, um molde para cada telha extrudada, onde cada molde pode no máximo produzir duas telhas em um dia (FERNANDES, 2012).

Para o desenvolvimento e seleção de alternativas viáveis, além dos apontamentos fornecidos pela Solbravo e pela Tégula, o autor e cinco técnicos do Senai, de diversas áreas de conhecimento, participaram de rodadas de discussão direcionando as soluções viáveis para o projeto.

4.4 Quarto Ciclo - Protótipos

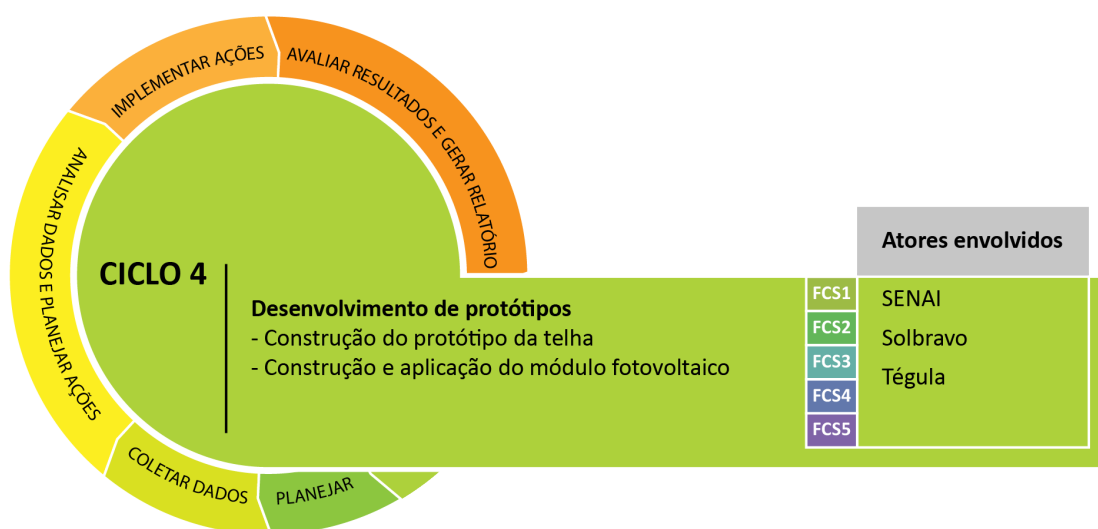


Figura 38 – Quarto ciclo de pesquisa
Fonte: O autor (2013)

Para estudar a viabilidade da produção das telhas fotovoltaicas pelo grupo de colaboração, determinou-se como necessário o desenvolvimento de protótipos para testes. Para tanto, esta etapa divide-se em duas fases:

- a. Construção de protótipos da telha;
- b. Construção e aplicação do módulo fotovoltaico.

Nota-se que ambas as fases podem ser descritas como concorrentes, pois afetam alterações independentes que podem gerar modificações no resultado final do protótipo e do produto (BACK et al., 2008).

4.4.1 Construção do protótipo da telha

A fabricação dos protótipos da telha iniciou-se com processo de desenvolvimento de moldes em fibra para se produzir a telha em seu formato final e com RCD em sua composição. Contudo, este protótipo seria figurativo e serviria apenas para apresentação de sua forma, não possuindo a resistência de uma telha extrudada, que

adquire tal característica devido à baixa quantidade de água em sua composição e também pela compressão do material durante a formação da telha.

A alternativa viável foi usinar as telhas, modelo plana, já produzidas pela Tégula, retirando parte de sua superfície, suficiente para acomodar o módulo solar com um disco de corte diamantado utilizando uma serra estacionária modelo SMO-100 produzida pela Fundação Guarani. Buscou-se com esta ação manter as características estruturais de uma telha concebida na extrusora com o formato final adequado para a inserção do módulo solar.



Figura 39 – Processo de usinagem da telha de concreto em fresadora universal
Fonte: O autor (2013)

Antes de se utilizar o disco de corte, foi utilizada uma fresadora universal, que apresentou dois problemas: as pastilhas fresadoras em aço duro em cabeçote fresador de 40mm não suportaram o atrito com o concreto e se desgastavam rapidamente e a vibração provocada pelo processo, rompia a telha e não se chegou a uma forma viável de travamento sobre a mesa da fresadora.

Na fresagem, com disco de corte, a telha foi encavada entre 6,2 mm e 7mm, tal margem deve-se ao fato de que em algumas telhas existem diferenças milimétricas de espessura e também pelo equipamento utilizado sofrer com os próprios detritos gerados pelo processo de fresagem. A telha foi fresada procedendo-se cortes longitudinais até se atingir a largura total de 170mm, centralizados com a estrutura de suporte da telha, suficientes para o encaixe do módulo fotovoltaico. A fim de se evitar rupturas na estrutura da telha o processo foi executado removendo entre 1mm e 1,5mm a cada corte e aplicando água corrente para não superaquecer o material.



Figura 40 – Processo de usinagem da telha de concreto com disco de corte
Fonte: O autor (2013)

Tal protótipo, não reflete com exatidão o resultado final de uma telha produzida a partir de RCD, mas com os resultados obtidos no segundo ciclo, espera-se que após sua moldagem na extrusora, a telha de RCD, tenha comportamento e resistência similares à telha plana tradicional.

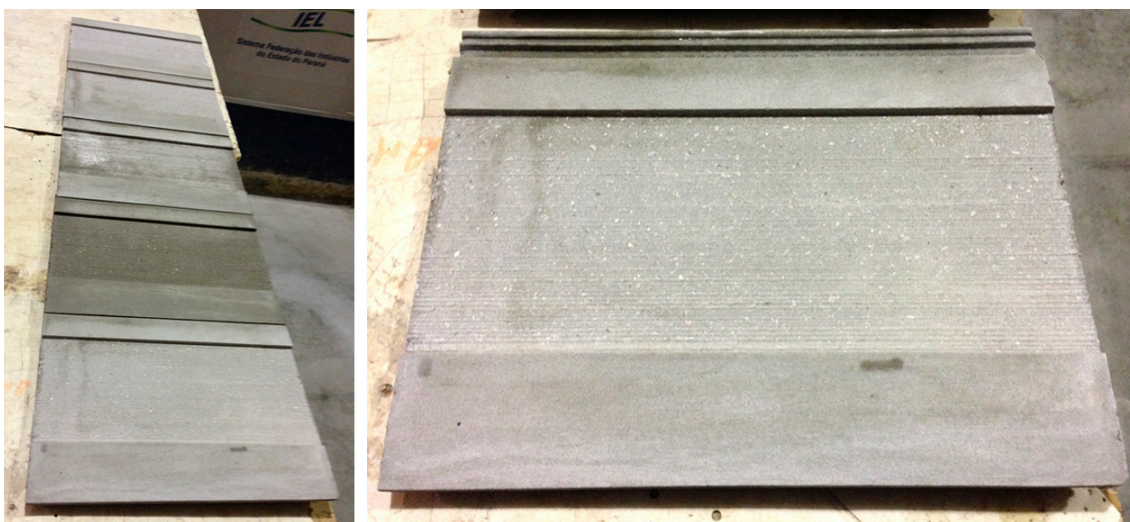


Figura 41 – Telhas usinadas
Fonte: O autor (2013)

4.4.2 Construção do protótipo do módulo fotovoltaico

Após o correto dimensionamento de todos os componentes do módulo solar, o processo de construção do módulo é constituído de diversas etapas, no entanto, para de fato se constituir o gerador fotovoltaico, o processo tem início com o encadeamento das células -devido à baixa potência das células e também ao formato reduzido, especialmente nos modelos de silício cristalino e policristalino- que compõem o gerador. No protótipo em questão, quatro células, cada uma medindo 150 x 80mm serão ligadas em série, ou seja, o polo negativo de uma célula é ligado com o polo positivo da célula seguinte, sucessivamente. O processo em si consiste em soldar o *Bus Wire*, que é um fita de estanho, pela superfície da célula (polo negativo) e a seguir, soldar a continuação do *Bus Wire* na base da célula seguinte (polo positivo). Com a ligação em série, a tensão elétrica das células se somam enquanto a corrente elétrica permanece inalterada (GREENPRO, 2004).

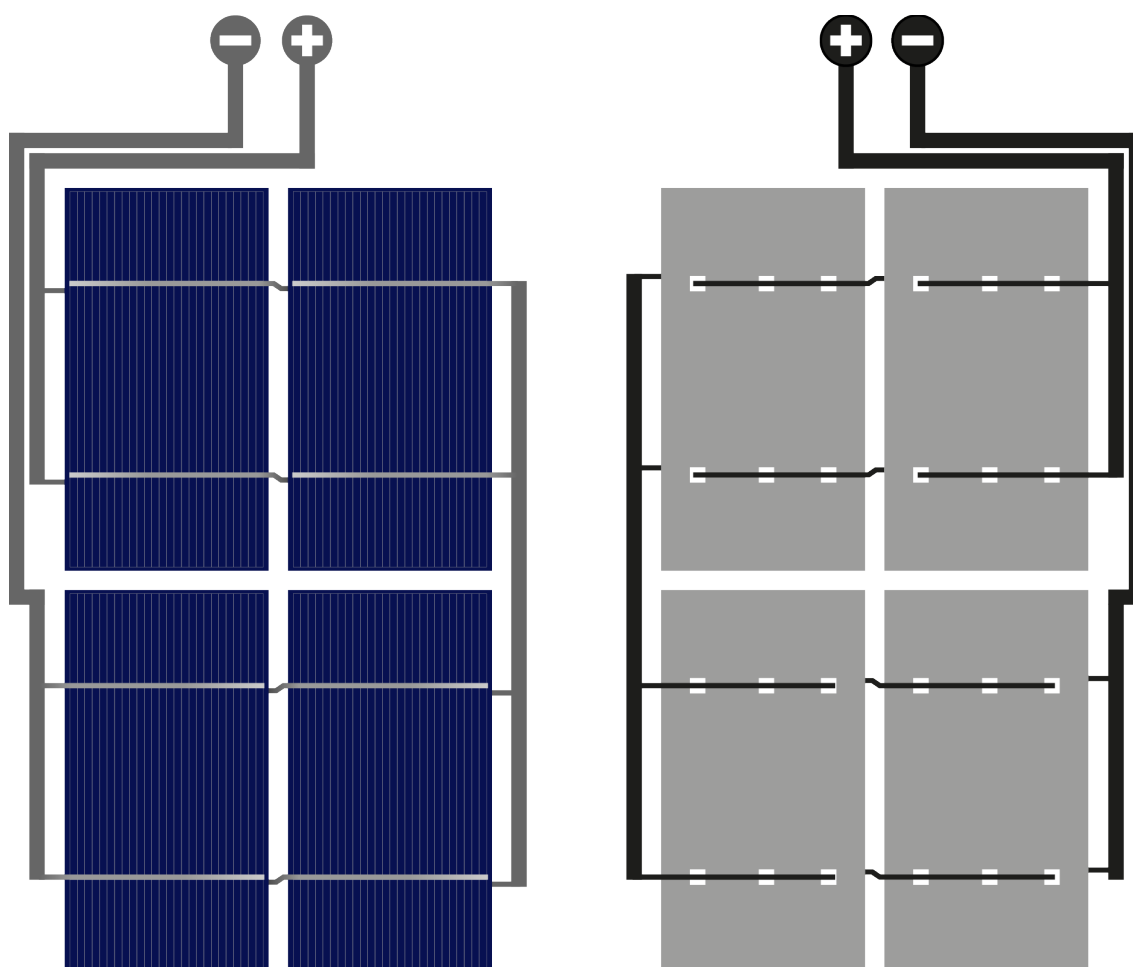


Figura 42 - Esquema de encadeamento em série
Fonte: O autor (2013)

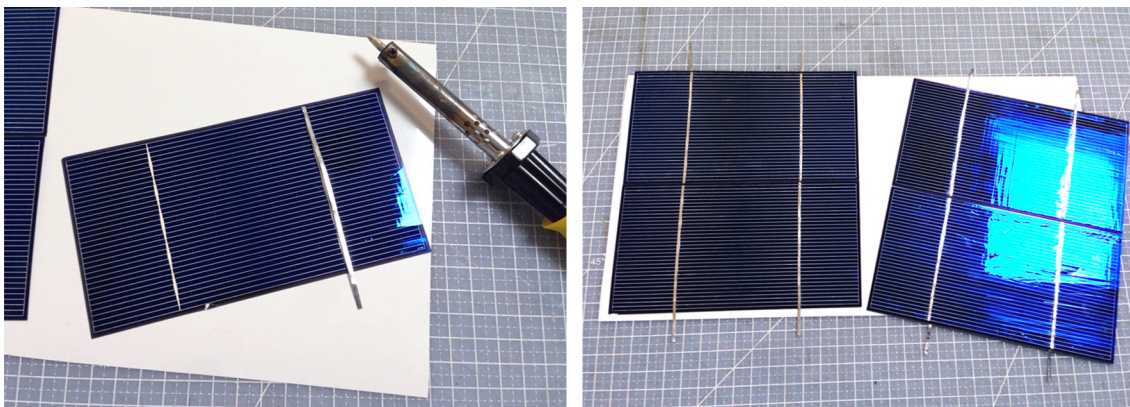


Figura 43 – Processo de soldagem dos Tabs para o encadeamento das células
Fonte: O autor (2013)

Após a ligação entre as células, a corrente é direcionada aos cabos que farão as conexões externas através do *Tab Wire*, que consiste em uma fita de estanho com largura maior que a do *Bus Wire*. Todos os componentes utilizados são muito frágeis, especialmente as células que podem se degradar com impactos e oxidação. Para proteção, o conjunto é sobreposto em placas de PVC para aumentar a resistência durante o processo encapsulamento por EVA, que demanda a criação de vácuo, para evitar formação de bolhas ou enrugamento durante sua fusão com os componentes.

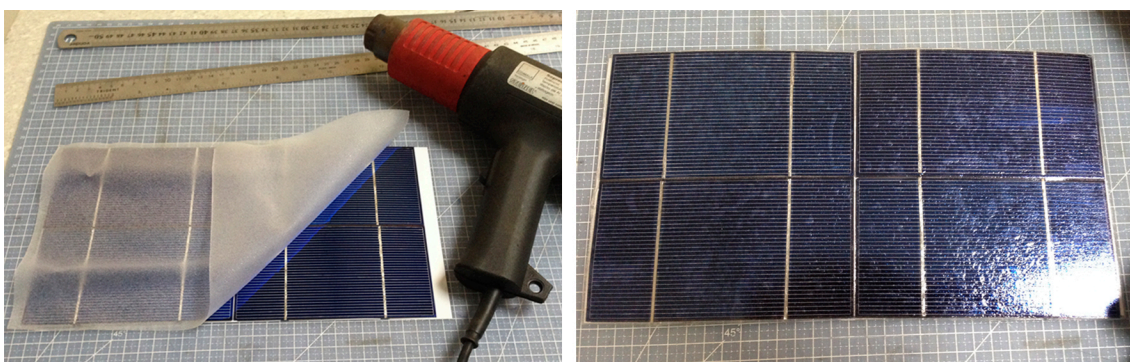


Figura 44 – Encapsulamento das células com EVA
Fonte: O autor (2013)

Concluídas as ligações e o encapsulamento, o conjunto é colocado sobre a base do módulo, e este é recoberto por policarbonato, sendo selado com silicone para evitar a entrada de umidade e poeira.

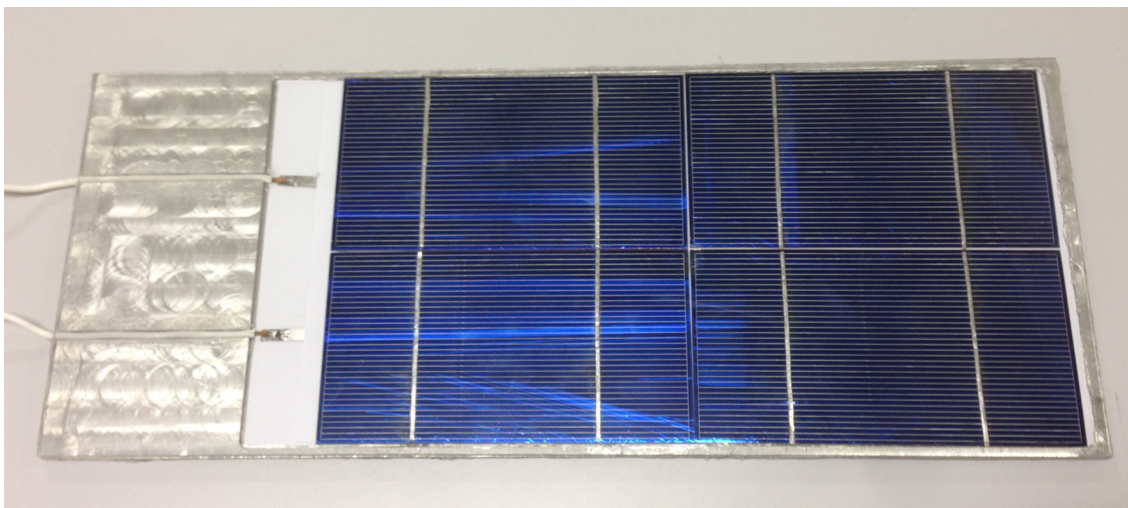


Figura 45 – Módulo fotovoltaico recoberto por policarbonato e com as células em seu interior
Fonte: O autor (2013)

O terceiro ciclo de pesquisa descreve a seleção dos materiais para a construção da caixa de proteção externa do módulo fotovoltaico, composto por células fotovoltaicas que após serem interligadas em série e encapsuladas, são enclausuradas em materiais de alta resistência.

O material elencado como ideal para constituir a base do módulo é o alumínio, que apresenta as seguintes vantagens, segundo a Associação Brasileira do Alumínio (2007):

- a. Baixo peso específico;
- b. Baixo ponto de fusão;
- c. Pode ser facilmente transformado por meio de todos processos metalúrgicos normais;
- d. Alta resistência à tração;
- e. Resistência à corrosão;
- f. Alta condutibilidade térmica;
- g. Infinita reciclagem;
- h. Impermeável à ação da umidade e do oxigênio.

Tais características atribuem grandes vantagens para o produto final. A resistência das telhas fotovoltaicas poderá permanecer semelhante ou superior à telha plana produzida pela Tégula, substituindo parte de sua estrutura em concreto pelo módulo

formado pela associação do alumínio com a placa de policarbonato que recobre a superfície do módulo.

O alumínio na base das células fotovoltaicas, deverá oferecer ainda a vantagem de melhorar a potência das células, especialmente por sua característica de alta condutibilidade térmica, uma vez que em células de silício cristalino o desempenho elétrico de um módulo se reduz entre 0,30 a 0,45%/°C de aumento na temperatura. Esta redução pode ser ainda mais significativa na telha fotovoltaica, pelo fato do módulo estar integrado à telha, limitando a ventilação (CHOW et al., 2003; GREENPRO, 2004).

Com o intuito de facilitar a troca térmica e melhorar a eficiência energética dos módulos, foi desenvolvida uma variação em um dos protótipos de módulos, adicionando estrias longitudinais com 1mm de profundidade e 10mm de largura, conforme mostra a figura a seguir.



Figura 46 – Dutos de ventilação na parte posterior do módulo fotovoltaico
Fonte: O autor (2013)

As bases em alumínio dos protótipos foram usinadas utilizando um fresadora universal modelo FH4 produzida pela Clark. Para produção e comercialização, recomenda-se que a usinagem ocorra em um equipamento CNC, que reduzirá o tempo de produção e consequentemente o custo. Para se almejar custos ainda mais baixos, o ideal é produzir as bases de alumínio em uma fundição a partir de moldes, porém, devido ao elevado custo deste processo, tal produção é recomendada somente para grandes quantidades.



Figura 47 – Processo de usinagem das bases em alumínio
Fonte: O autor (2013)

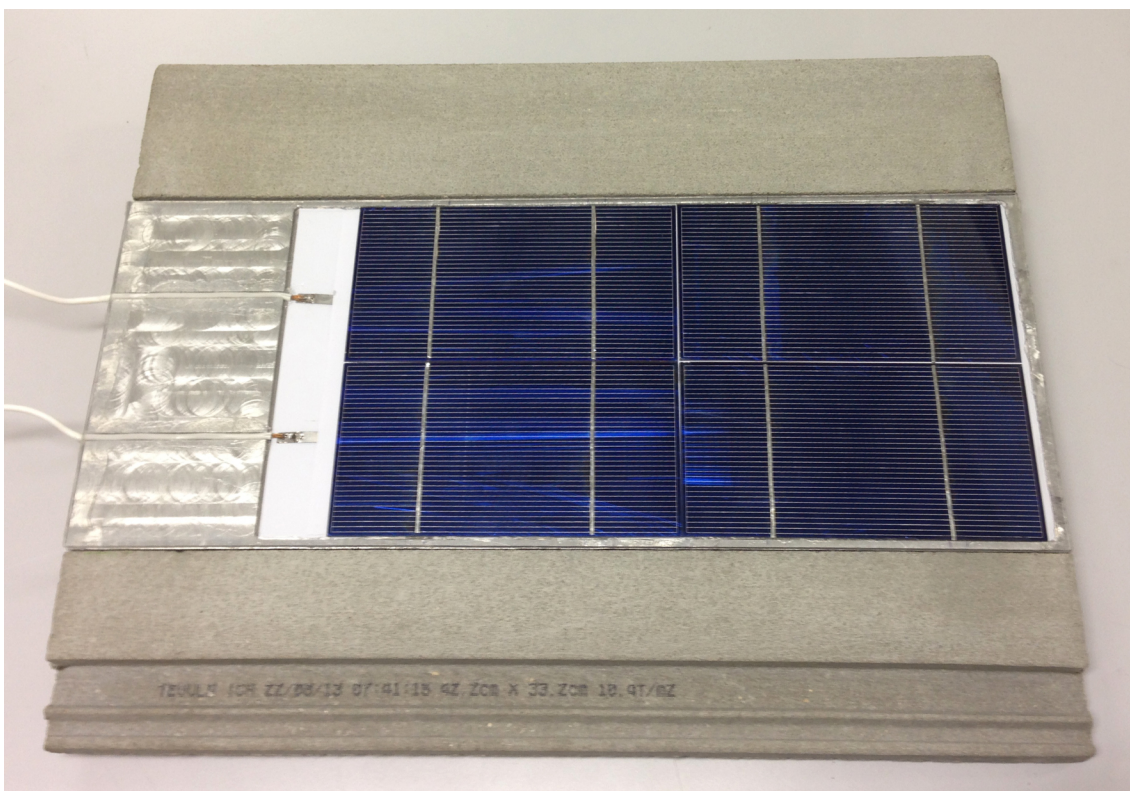


Figura 48 – Protótipo completo da telha fotovoltaica
Fonte: O autor (2013)

4.4.3 Análise do processo colaborativo no quarto ciclo

O quarto ciclo também teve maior participação da Solbravo e da Tégula e os procedimentos executado pelo SENAI.

A usinagem das telhas foi inicialmente executada utilizando uma fresadora universal Clark FH4, na área de Metalmecânica da unidade SENAI Cidade Industrial de Curitiba, no entanto, as ferramentas do equipamento não suportaram o atrito com o concreto e se desgastaram prematuramente. O processo obteve êxito a partir de uma serra estacionária equipada com um disco de corte diamantado, executado pelo autor e um técnico do SENAI na unidade de Construção civil. O processo consumiu em média 50 minutos para cada telha usinada.

A ligação entre as células por meio de solda, foi executada no laboratório de eletroeletrônica do SENAI CIC. O autor e um técnico da área ficaram responsáveis pela execução das soldas e do circuito elétrico. O desenvolvimento dos protótipos da base dos módulos fotovoltaicos, a partir de placas de alumínio, foi efetuado utilizando as fresadoras da área Metalmecânica do Senai CIC. O processo foi orientado pelo autor e executado com o envolvimento de seis técnicos desta unidade do Senai. Cada módulo levou em média 3,5 horas para ser fresado.

4.5 Quinto Ciclo – Eficiência energética

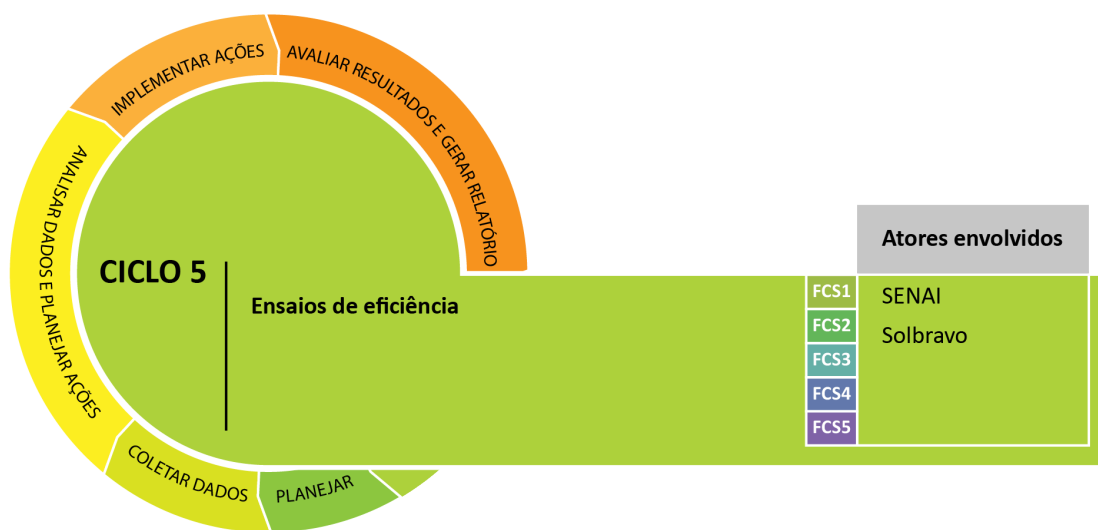


Figura 49 – Quinto ciclo de pesquisa
Fonte: O autor (2013)

Neste ciclo da pesquisa, os protótipos das telhas fotovoltaicas foram submetidas a ensaios para levantamento de informações sobre a eficiência energética e opções de instalação. Os ensaios ocorreram entre os dias 29 e 31 de janeiro de 2014, nas dependências do SENAI – CIC em Curitiba. Para todas as medições foram utilizados quatro ângulos de inclinação na instalação das telhas:

Neste ciclo da pesquisa, os protótipos das telhas fotovoltaicas são submetidas a ensaios para levantamento de informações sobre a eficiência energética e opções de instalação. O intuito é o de apresentar as principais possibilidades de aplicação e seus reflexos na eficiência energética.

Os ensaios ocorreram entre os dias 29 e 31 de janeiro de 2014, nas dependências do SENAI – CIC em Curitiba. Para todas as medições foram utilizados quatro ângulos de inclinação:

- 19°17' – Este é o ângulo mínimo recomendado pela Tégula para a instalação da telha plana, utilizando foil. (Anexo C);

- 26°34' – Trata-se do ângulo mínimo recomendado para a instalação sem utilizar foil. (Anexo C);
- 47° – Esta é uma inclinação intermediária entre os ângulos mínimo e máximo sem a aplicação do foil;
- 68° – É a inclinação máxima recomendada para as telhas planas sem a necessidade de amarração das telhas, o que não é possível no modelo fotovoltaico pois o módulo encontra-se sobreposto à área de furação para amarração. (Anexo C).

As informações coletadas servem como referencial para comparativos com outros produtos fotovoltaico, cálculos de suprimento de demanda, e expectativa de retorno de investimento (*energy pay-back*).

No próximo capítulo serão apresentados os resultados de todos os testes e as informações levantadas são as seguintes:

- Potência solar (W/m^2) expressa em Watt/metro quadrado;
- Tensão (V) em Volt;
- Corrente (A) em Ampère;
- Potência da telha fotovoltaica (W) em Watt;
- Temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$) em graus Celsius;
- Temperatura na superfície do módulo fotovoltaico ($^{\circ}\text{C}$);
- Temperatura na superfície do concreto da telha ($^{\circ}\text{C}$);
- Eficiência energética da telha (%) apresentando o percentual da potência solar convertida em energia fotovoltaica pela telha;
- Horário da medição.

Para as medições foram utilizados dois multímetros digitais Minipa, modelo ET-2702. Um responsável por medir a tensão, na escala 20V, e outro medindo a corrente gerada para alimentar um potenciômetro com resistência de $1\text{K}\Omega$ (1.000 ohms), na escala 20A. Tais aplicações foram necessárias para se obter a potência gerada em Watts pela telha fotovoltaica, na indisponibilidade de um Wattímetro de baixa amplitude, aplicou-

se o seguinte calculo⁹:

$$P = E \times I$$

A potência solar foi medida utilizando-se um radiômetro Icel, modelo SP-2000, configurado para unidade W/m². Segundo informações do manual do fabricante, a exatidão das medições podem sofrer uma variação de 10 W/m² ou 5%, para mais ou para menos.

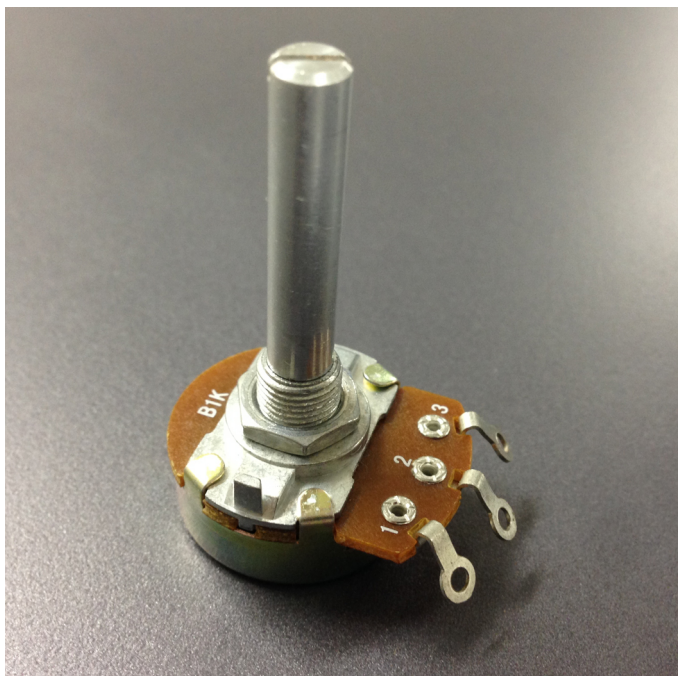


Figura 50 – Potenciômetro com resistência de 1KΩ
Fonte: O autor (2014)

As temperaturas foram obtidas a partir de um termômetro infravermelho Luke, modelo 66, com unidade configurada para grau Celsius (°C), tomando as temperaturas nas superfícies do módulo fotovoltaico e do concreto da telha.

⁹ P = Potência Elétrica - Unidade de Medida Watt (W)
E= Tensão Elétrica - Unidade de Medida Volt (V)
I = Corrente Elétrica - Unidade de Medida Ampére (A)



Figura 51 – Equipamentos utilizados para as medições. Multímetros, radiômetro e termômetro.
Fonte: O autor (2014)

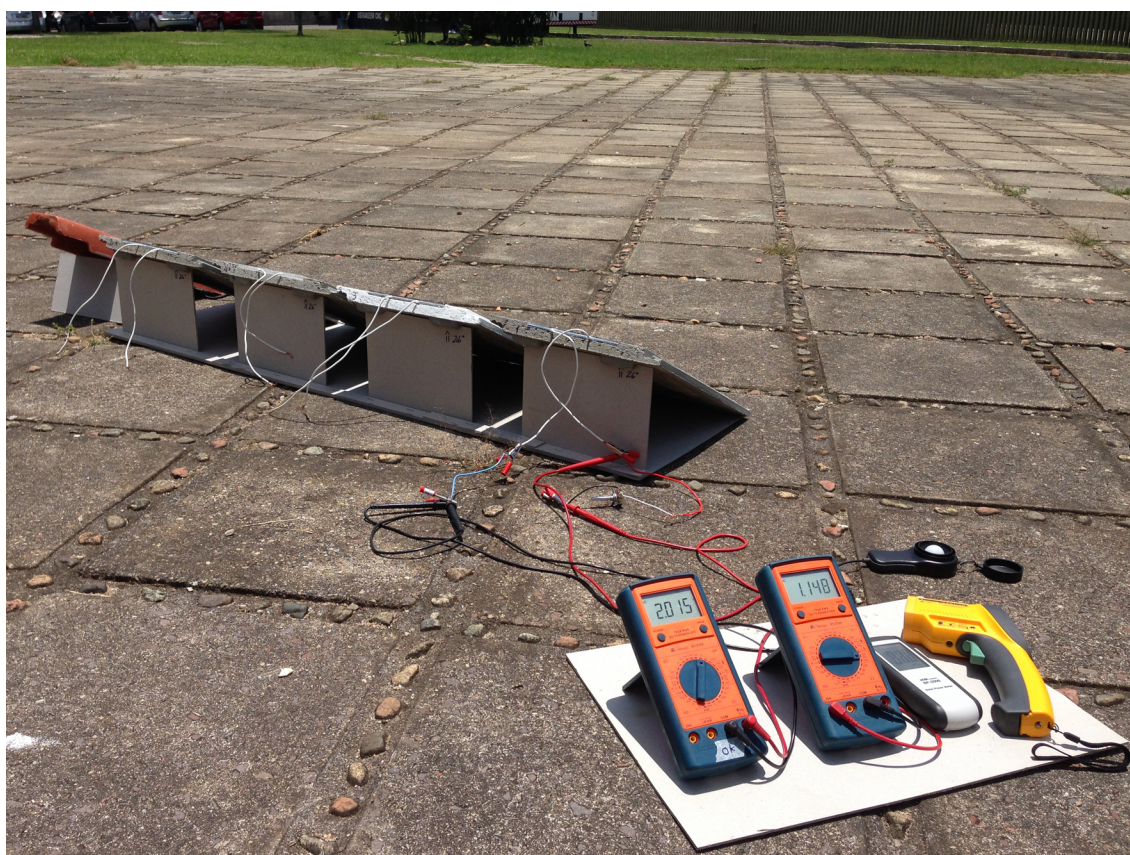


Figura 52 – Medições dos protótipos voltados ao norte, com inclinação de $26^{\circ}34''$ ao meio-dia.
Fonte: O autor (2014)

4.5.1 Primeiro ensaio

Inicialmente, quatro protótipos e um modelo da telha Plan da Solbravo foram avaliados no dia 29 de janeiro no período da tarde, entre 15h56 e 16h01, com as telhas orientadas para insolação ao norte e também a oeste.

Os quatro protótipos de telha fotovoltaica utilizados diferenciam-se pelas seguintes características:

- Protótipo 1 – Telha em concreto com coloração natural, módulo fotovoltaico constituído em alumínio em sua base com estrias longitudinais na área de contato com o concreto para otimizar a refrigeração, cobertura em policarbonato cristalino, com proteção U.V. e espessura de 2mm;
- Protótipo 2 – Telha em concreto com coloração natural, módulo fotovoltaico constituído em alumínio em sua base, cobertura em policarbonato cristalino, com proteção U.V. e espessura de 2mm;
- Protótipo 3 – Telha em concreto com coloração branca, módulo fotovoltaico constituído em alumínio em sua base, cobertura em policarbonato cristalino, com proteção U.V. e espessura de 2mm;
- Protótipo 4 – Telha em concreto com coloração natural, módulo fotovoltaico constituído em acrílico cristalino em sua base e cobertura.

Uma unidade da telha modelo Plan da Solbravo foi incluída no ensaio para comparação dos resultados.

Tal qual apresentado nos resultados (capítulo 5), para os ensaios seguintes, um único protótipo foi selecionado.



Figura 53 – Testes de eficiência. Na sequência, protótipos 1, 2, 3, 4 e telha modelo Plan da Solbravo
Fonte: O autor (2014)

4.5.2 Segundo ensaio

Após a comparação entre os resultados obtidos no ensaio comparativo, optou-se pelo protótipo 1 para as medições e levantamento dos índices obtidos com as telhas voltadas para os quatro pontos cardeais a partir do azimuth magnético, para cada uma das direções, foram obtidos os números em quatro inclinações distintas, como descrito para este ciclo, com angulações a $19^{\circ}17'$, $26^{\circ}34'$, 47° e 68° . Para se obter uma aproximação com a variação da insolação durante o dia, as medições foram efetuadas próximo ao meio-dia, em 30 de janeiro de 2014, e nos períodos da manhã e à tarde, no dia 31 de janeiro de 2014.

4.5.3 Análise do processo colaborativo

As medições utilizando os protótipos e a telha Plan Solbravo foram executadas nas dependências do SENAI-CIC pelo autor com auxílio de quatro técnicos das áreas eletroeletrônica, eletrotécnica, automação e da área gráfica.

A Solbravo auxiliou o processo fornecendo os parâmetros a serem aplicados nas medições e também na avaliação e validação destes.

Capítulo 5 | Resultados e discussão

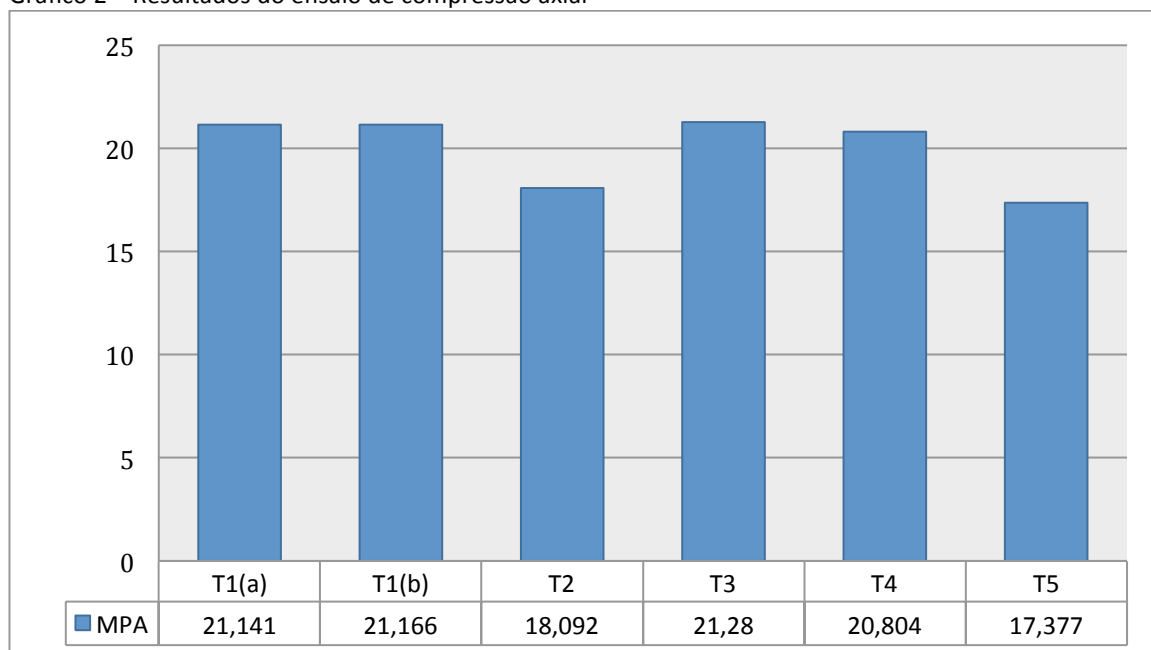
5.1 Análise e resultados do desempenho mecânico dos ensaios com RCD

Os resultados obtidos com os corpos de prova compostos de RCD, em substituição à areia, foram comparados com os corpos padrão, que seguem o traço utilizado pela Tégula. A partir dos valores alcançados, a Soliforte validou os resultados, atribuindo a resistência dos corpos de prova com RCD, muito próxima ao corpo de prova padrão, especialmente pela eliminação do material indesejado-abaixo de 75µm e acima de 2,35mm. Deste modo é possível afirmar que a utilização de resíduos de construção e demolição demonstra-se é viável na composição do traço de concreto leve, especialmente com a adição de 30% de cimento classe CPV-ARI. Contudo, para a produção de telhas com RCD, esta previsão só poderá ser conclusiva após efetuados testes nas extrusoras de telhas, que possuem características distintas dos métodos utilizados para a obtenção dos corpos de prova, que visou especificamente a formação da liga e a resistência do material (FERNANDES, 2012; PATRICIO et al., 2013). O

Apêndice B apresenta algumas características para a produção de telhas a partir de RCD que não puderam ser analisadas nos corpos de prova.

O gráfico 2 apresenta os resultados obtidos no teste de compressão axial, expressos em Mega Pascal (MPa), com os corpos de prova descritos no segundo ciclo de pesquisa.

Gráfico 2 – Resultados do ensaio de compressão axial



Fonte: O autor (2013)

5.2 Análise e resultados da união entre células fotovoltaicas e telha

Ao usar a abordagem integrada, os sistemas fotovoltaicos BIPV tornam-se parte do projeto de construção em geral, podendo funcionar também como elementos de construção regulares. Recomenda-se que os elementos solares sejam considerados de modo integrado durante o projeto, e não como elementos separados que são adicionados posteriormente (HESTNES, 2000).

Diversos métodos poderiam ser utilizados para unir as células fotovoltaicas à telha, contudo, apesar de existir integração, deve-se prever também como se dará a manutenção, especialmente em produtos sustentáveis que visam a utilização do mesmo produto por muitos anos. Um produto totalmente integrado, que se apresenta em uma estrutura única, é viável desde que atenda a requisitos que propiciem a manutenção com baixa complexidade, otimizando a utilização durante seu ciclo de vida e facilitem a desmontagem e a separação de todos os componentes, com o máximo aproveitamento de todos os resíduos provenientes de seu descarte (MANZINI & VEZZOLI, 2008).

A telha fotovoltaica projetada, é composta basicamente de 2 elementos, a base de concreto e o módulo fotovoltaico. A Tégula oferece 20 anos de garantia em seus produtos, e o tempo de vida útil de uma telha está previsto para aproximadamente 30 anos. Células fotovoltaicas de silício policristalino possuem um tempo de vida semelhante, entre 25 e 30 anos de vida. Contudo, durante este período pode ser necessária a manutenção, seja substituindo um dos elementos, ou efetuando manutenção.

Para gerar energia, o material que recobre as células deve possuir elevada transparência. Pelo fato deste componente ficar exposto às intempéries e poeira, periodicamente se faz necessária a limpeza do policarbonato que protege as células, além disso, devido a esse tipo de exposição, com o passar do tempo o policarbonato poderá amarelar, problema que pode ser solucionado com polimento da superfície. Em casos extremos esta placa poderá ser substituída por outra.

5.3 Análise e resultados da eficiência energética

Conforme o método adotado para as medições apresentados no 5º Ciclo da pesquisa-ação, os resultados obtidos no primeiro ensaio foram os seguintes:

5.3.1 Primeiro ensaio

Tabela 3 – Primeiro ensaio comparativo

ENSAIO 1.1 - 29/01/2014	INCLINAÇÃO: 19°17'		NORTE	RESISTÊNCIA: 1KΩ	
PROTÓTIPOS	P1	P2	P3	P4	SOLBRAVO
POTÊNCIA SOLAR (W/M2)	720	697	710	693	688
TENSÃO (V)	1,972	1,880	1,940	1,875	0,838
CORRENTE (A)	0,970	1,112	1,110	1,084	0,501
POTÊNCIA DO MÓDULO PV (W)	1,913	2,091	2,153	2,033	0,420
TEMPERATURA AMBIENTE (C)	35	35	35	35	35
TEMPERATURA MODULO PV (C)	53,7	56,4	51,8	53,6	54,1
TEMPERATURA TELHA (C)	47,3	48,2	40,1	48,6	51,2
EFICIÊNCIA (%)	5,535	6,249	6,319	6,110	1,271
HORÁRIO DA MEDIÇÃO	15H56	15H58	16H00	16H02	16H04

Fonte: O autor (2014)

Tabela 4 – Segundo ensaio comparativo

ENSAIO 1.2 - 29/01/2014	INCLINAÇÃO: 26°34'		NORTE	RESISTÊNCIA: 1KΩ	
PROTÓTIPOS	P1	P2	P3	P4	SOLBRAVO
POTÊNCIA SOLAR (W/M2)	175	128	108	105	102
TENSÃO (V)	1,014	0,790	0,583	0,584	0,522
CORRENTE (A)	0,662	0,511	0,379	0,400	0,351
POTÊNCIA DO MÓDULO PV (W)	0,671	0,404	0,221	0,234	0,183
TEMPERATURA AMBIENTE (C)	35	35	34	34	34
TEMPERATURA MODULO PV (C)	43,5	42,5	38,7	39,5	41,6
TEMPERATURA TELHA (C)	42,7	43,4	37,6	41,8	38
EFICIÊNCIA (%)	7,991	6,570	4,262	4,635	3,742
HORÁRIO DA MEDIÇÃO	16H12	16H17	16H21	16H25	16H32

Fonte: O autor (2014)

Tabela 5 – Terceiro ensaio comparativo

ENSAIO 1.3 - 29/01/2014	INCLINAÇÃO: 47°		NORTE	RESISTÊNCIA: 1KΩ	
PROTÓTIPOS	P1	P2	P3	P4	SOLBRAVO
POTÊNCIA SOLAR (W/M2)	294	113	109	531	96
TENSÃO (V)	1,426	0,670	0,556	1,181	0,510
CORRENTE (A)	0,892	0,429	0,362	0,904	0,333
POTÊNCIA DO MÓDULO PV (W)	1,272	0,287	0,201	1,068	0,170
TEMPERATURA AMBIENTE (C)	35	35	34	34	34
TEMPERATURA MODULO PV (C)	43,5	41,8	39,7	42,3	41
TEMPERATURA TELHA (C)	43,1	42,6	38,1	42,1	38,7
EFICIÊNCIA (%)	9,014	5,299	3,847	4,189	3,686
HORÁRIO DA MEDIÇÃO	16H14	16H18	16H21	16H26	16H24

Fonte: O autor (2014)

Tabela 6 – Quarto ensaio comparativo

ENSAIO 1.4 - 29/01/2014	INCLINAÇÃO: 68°		NORTE	RESISTÊNCIA: 1KΩ	
PROTÓTIPOS	P1	P2	P3	P4	SOLBRAVO
POTÊNCIA SOLAR (W/M2)	148	106	114	223	88
TENSÃO (V)	0,634	0,457	0,462	0,673	0,465
CORRENTE (A)	0,419	0,304	0,303	0,353	0,306
POTÊNCIA DO MÓDULO PV (W)	0,266	0,139	0,140	0,238	0,142
TEMPERATURA AMBIENTE (C)	35	34	34	34	34
TEMPERATURA MODULO PV (C)	42,1	41,2	39,7	42,2	41,4
TEMPERATURA TELHA (C)	43,3	42,6	38,7	42,3	39,6
EFICIÊNCIA (%)	3,739	2,731	2,558	2,219	3,369
HORÁRIO DA MEDIÇÃO	16H15	16H20	16H23	16H27	16H24

Fonte: O autor (2014)

Tabela 7 – Quinto ensaio comparativo

ENSAIO 1.5 - 29/01/2014	INCLINAÇÃO: 19°17'		OESTE	RESISTÊNCIA: 1KΩ	
PROTÓTIPOS	P1	P2	P3	P4	SOLBRAVO
POTÊNCIA SOLAR (W/M2)	101	103	80	65	57
TENSÃO (V)	0,733	0,668	0,505	0,387	0,322
CORRENTE (A)	0,442	0,415	0,323	0,248	0,205
POTÊNCIA DO MÓDULO PV (W)	0,324	0,277	0,163	0,096	0,066
TEMPERATURA AMBIENTE (C)	32	32	32	32	32
TEMPERATURA MODULO PV (C)	35,8	35,2	34,2	35,1	36,4
TEMPERATURA TELHA (C)	37,5	37,1	34,3	35,2	35,1
EFICIÊNCIA (%)	6,683	5,607	4,248	3,076	2,413
HORÁRIO DA MEDIÇÃO	16H44	16H47	16H54	16H58	17H00

Fonte: O autor (2014)

Tabela 8 – Sexto ensaio comparativo

ENSAIO 1.6 - 29/01/2014	INCLINAÇÃO: 26°34'		OESTE	RESISTÊNCIA: 1KΩ	
PROTÓTIPOS	P1	P2	P3	P4	SOLBRAVO
POTÊNCIA SOLAR (W/M2)	111	87	73	64	-
TENSÃO (V)	0,759	0,573	0,464	0,377	-
CORRENTE (A)	0,467	0,365	0,298	0,242	-
POTÊNCIA DO MÓDULO PV (W)	0,354	0,209	0,138	0,091	-
TEMPERATURA AMBIENTE (C)	32	32	32	32	-
TEMPERATURA MODULO PV (C)	35,7	35,8	34,4	35,3	-
TEMPERATURA TELHA (C)	37,5	37,1	34,6	35,4	-
EFICIÊNCIA (%)	6,653	5,008	3,946	2,970	-
HORÁRIO DA MEDIÇÃO	16H44	16H50	16H54	16H59	-

Fonte: O autor (2014)

Tabela 9 – Sétimo ensaio comparativo

ENSAIO 1.7 - 29/01/2014	INCLINAÇÃO: 47°		OESTE	RESISTÊNCIA: 1KΩ	
PROTÓTIPOS	P1	P2	P3	P4	SOLBRAVO
POTÊNCIA SOLAR (W/M2)	125	79	68	63	-
TENSÃO (V)	0,753	0,534	0,400	0,336	-
CORRENTE (A)	0,459	0,338	0,256	0,211	-
POTÊNCIA DO MÓDULO PV (W)	0,346	0,180	0,102	0,071	-
TEMPERATURA AMBIENTE (C)	32	32	32	32	-
TEMPERATURA MODULO PV (C)	35,8	36,7	34,2	35,2	-
TEMPERATURA TELHA (C)	37,7	37,1	34,3	35,3	-
EFICIÊNCIA (%)	5,760	4,760	3,137	2,344	-
HORÁRIO DA MEDIÇÃO	16H46	16H50	16H55	17H00	-

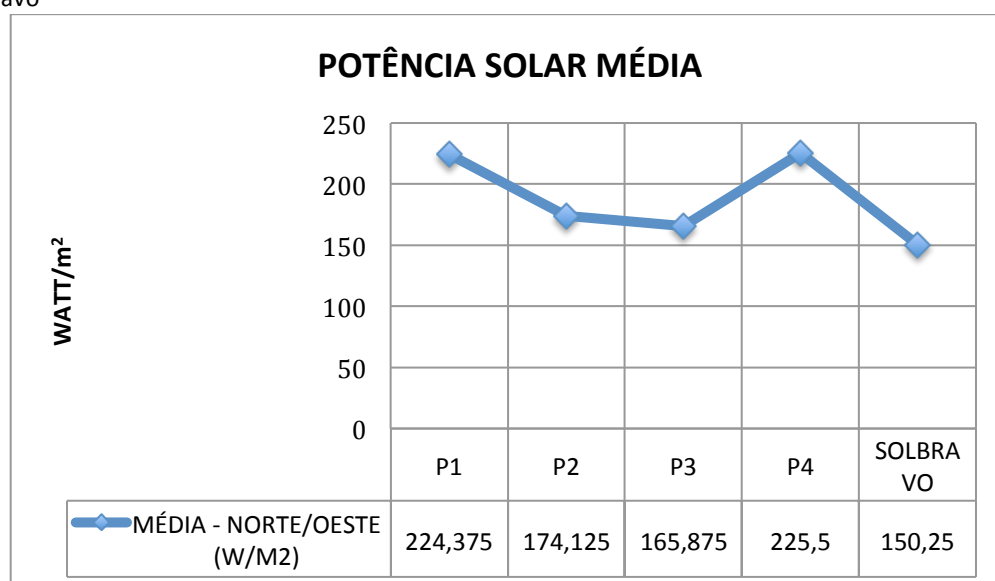
Fonte: O autor (2014)

Tabela 10 – Oitavo ensaio comparativo

ENSAIO 1.8 - 29/01/2014	INCLINAÇÃO: 68°		OESTE	RESISTÊNCIA: 1KΩ	
PROTÓTIPOS	P1	P2	P3	P4	SOLBRAVO
POTÊNCIA SOLAR (W/M2)	121	80	65	60	-
TENSÃO (V)	0,583	0,450	0,320	0,267	-
CORRENTE (A)	0,360	0,288	0,207	0,170	-
POTÊNCIA DO MÓDULO PV (W)	0,210	0,130	0,066	0,045	-
TEMPERATURA AMBIENTE (C)	32	32	32	32	-
TEMPERATURA MODULO PV (C)	38,3	37,3	36,3	36,3	-
TEMPERATURA TELHA (C)	38,3	37,4	35,2	36,2	-
EFICIÊNCIA (%)	3,614	3,375	2,123	1,576	-
HORÁRIO DA MEDIÇÃO	16H46	16H51	16H57	17H01	-

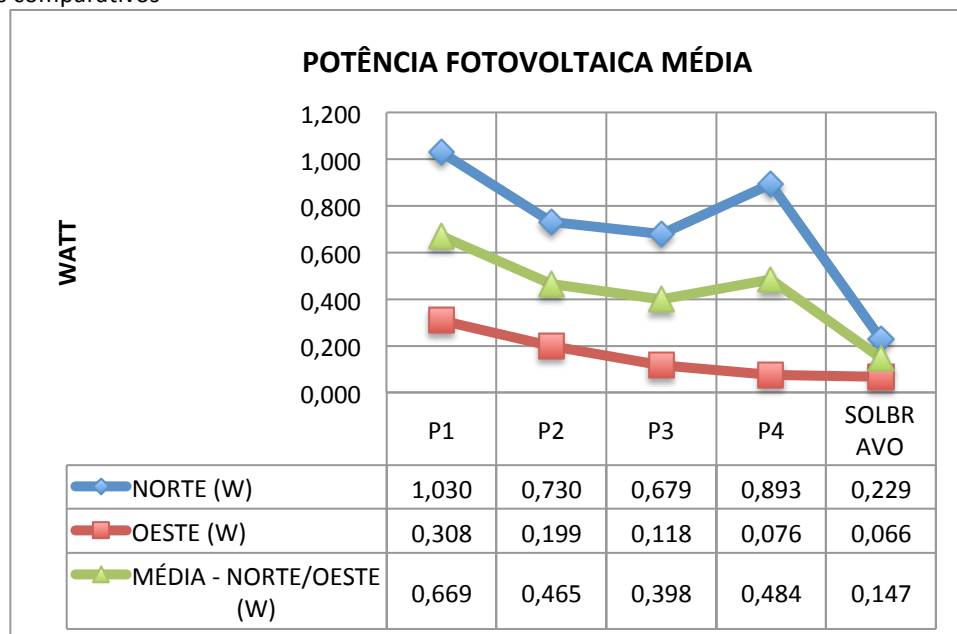
Fonte: O autor (2014)

Gráfico 3 – Potência solar média durante os ensaios comparativos entre protótipos e a telha Plan Solbravo



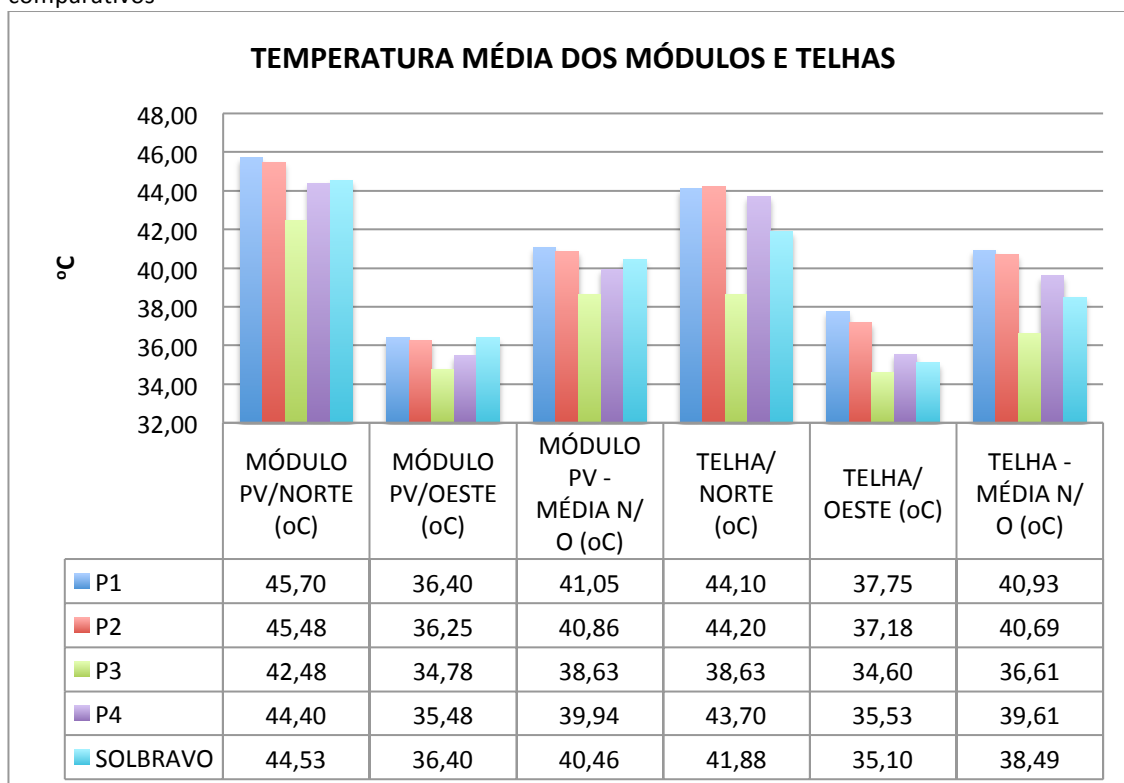
Fonte: O autor (2014)

Gráfico 4 – Potência fotovoltaica média alcançada pelos protótipos e a telha Plan Solbravo durante os ensaios comparativos



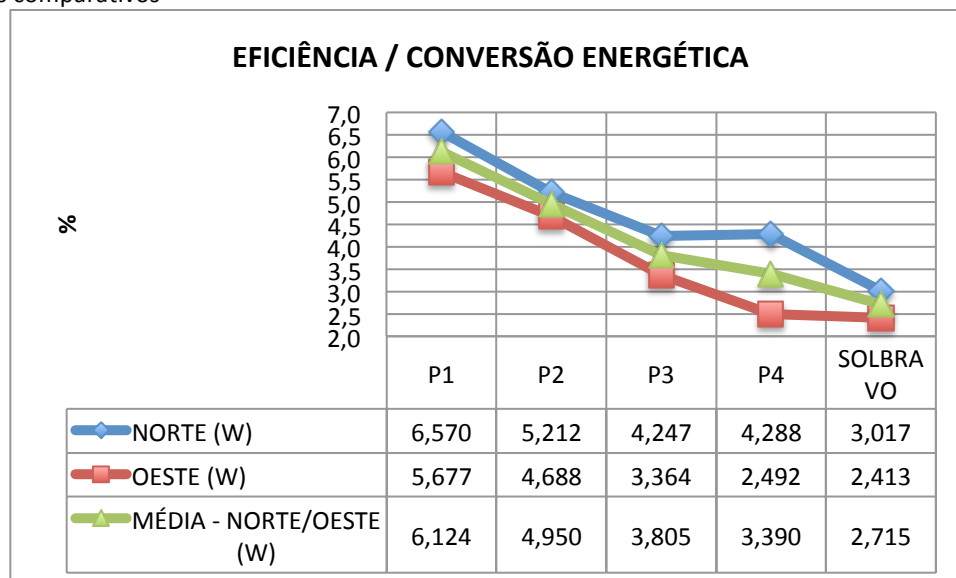
Fonte: O autor (2014)

Gráfico 5 – Temperatura média coletada nas superfícies dos módulos e das telhas durante os ensaios comparativos



Fonte: O autor (2014)

Gráfico 6 – Eficiência energética média na conversão da irradiação pelo efeito fotovoltaico durante os ensaios comparativos



Fonte: O autor (2014)

Com base nas informações coletadas, é possível observar que P1 foi ligeiramente mais eficiente que os demais protótipos na potência gerada e na conversão da irradiação recebida. Não é possível afirmar com certeza que isto se deve aos dutos de ventilação na parte posterior do módulo fotovoltaico, para isto, seria necessária uma quantidade maior de protótipos para se obter uma média que não sofra interferência da qualidade das células fotovoltaicas utilizadas, pois uma variação de poucos microns em sua espessura é capaz de influenciar os resultados de conversão pelo efeito fotovoltaico (SERODIO, 2009). Mesmo assim, os resultados superiores de P1 quando comparado com os demais, podem ser indícios da eficiência dos dutos de ventilação. Observando as temperaturas alcançadas durante os ensaios, P1 teve temperaturas muito elevadas, contudo, juntamente com P4, foram os que receberam as maiores médias de insolação no momento das medições e, ainda assim, P1 foi o que apresentou redução de temperatura em menor tempo, quando modificava-se sua orientação e inclinação. Ainda em relação à temperatura, P3 possui a coloração branca nas áreas de exposição à insolação pelo concreto e apresentou a menor temperatura média, mas estes resultados não refletiram melhor eficiência na conversão, porém, em um projeto, a superfície branca proporcionará temperaturas mais baixas, que representam maior

conforto térmico, especialmente em áreas com temperaturas elevadas e com muita insolação. (CHOW et al., 2003; MENDONÇA et al., 2010).

A telha produzida pela Solbravo esteve presente no primeiro ensaio para comparar seu resultados com os dos protótipos. Avaliando sua potência gerada, esperava-se um número inferior ao alcançado pelos protótipos, visto que possui metade da capacidade instala nos protótipos do presente estudo, no entanto, havia uma expectativa de que os valores de eficiência atingissem percentuais similares aos dos demais, o que não foi observado, a baixa eficiência da telha modelo plan da empresa Solbravo pode ser atribuída ao amarelamento da resina utilizada para recobrir as células, que pode reduzir sua transparência e limitar a incidência da irradiação solar e, conseqüentemente sua conversão em energia fotovoltaica. A partir desta observação, espera-se que com o passar do tempo, sob exposição ao sol e intempéries, o policarbonato, elencado para recobrir as células deste estudo, possa perder também sua transparência, reduzindo a eficiência das células. Os fabricantes garantem, em média, 10 anos de vida útil sem amarelamento, contudo, é possível executar um polimento na superfície externa do policarbonato, retirando as impurezas e melhorando sua transparência. Sugere-se ainda, do mesmo modo que é recomendado a todos os tipos de painéis e componentes fotovoltaicos, que seja executada a limpeza periódica na superfície da telha fotovoltaica, especialmente no policarbonato que recobre as células.

5.3.2 Segundo ensaio

Para uma avaliação mais profunda sobre a eficiência das telhas fotovoltaicas, P1 foi selecionado para ser avaliado durante três períodos de insolação, manhã (tabelas 15, 16, 17 e 18), ao meio-dia (tabelas 11, 12, 13 e 14) e a tarde (tabelas 19, 20, 21 e 22), orientado aos quatro pontos cardeais, com quatro ângulos de inclinação, descritos no 5º ciclo, a fim de apresentar parâmetros que auxiliem sua utilização e aplicação.

Tabela 11 – Medições ao meio-dia – Norte

ENSAIO 2.1 - 30/01/2014	NORTE	P1	RESISTÊNCIA: 1KΩ	
INCLINAÇÃO	19°17'	26°34'	47°	68°
POTÊNCIA SOLAR (W/M2)	950	964	972	967
TENSÃO (V)	1,955	1,953	1,927	1,849
CORRENTE (A)	1,208	1,157	1,137	1,096
POTÊNCIA DO MÓDULO PV (W)	2,362	2,260	2,191	2,027
TEMPERATURA AMBIENTE (C)	34	34	34	34
TEMPERATURA MODULO PV (C)	55,4	57,1	57,2	57,1
TEMPERATURA TELHA (C)	42,7	44,3	45,7	45,8
EFICIÊNCIA (%)	5,179	4,883	4,696	4,366
HORÁRIO DA MEDIÇÃO	12H45	12H46	12H47	12H49

Fonte: O autor (2014)

Tabela 12 – Medições ao meio-dia – Oeste

ENSAIO 2.2 - 30/01/2014	OESTE	P1	RESISTÊNCIA: 1KΩ	
INCLINAÇÃO	19°17'	26°34'	47°	68°
POTÊNCIA SOLAR (W/M2)	917	929	922	961
TENSÃO (V)	1,977	1,977	1,972	1,872
CORRENTE (A)	1,147	1,161	1,182	1,131
POTÊNCIA DO MÓDULO PV (W)	2,268	2,295	2,331	2,117
TEMPERATURA AMBIENTE (C)	34	34	34	34
TEMPERATURA MODULO PV (C)	53	50,8	49,1	44,9
TEMPERATURA TELHA (C)	47,9	47,2	46,2	44,7
EFICIÊNCIA (%)	5,152	5,147	5,267	4,590
HORÁRIO DA MEDIÇÃO	12H59	12H57	12H56	12H55

Fonte: O autor (2014)

Tabela 13 – Medições ao meio-dia – Sul

ENSAIO 2.3 - 30/01/2014	SUL	P1	RESISTÊNCIA: 1KΩ	
INCLINAÇÃO	19°17'	26°34'	47°	68°
POTÊNCIA SOLAR (W/M2)	985	995	979	977
TENSÃO (V)	2,003	1,967	1,897	1,398
CORRENTE (A)	1,079	1,103	1,094	0,863
POTÊNCIA DO MÓDULO PV (W)	2,161	2,170	2,075	1,206
TEMPERATURA AMBIENTE (C)	34	34	34	34
TEMPERATURA MODULO PV (C)	51,3	54,3	56,8	53,4
TEMPERATURA TELHA (C)	48,7	48,8	49,3	49,4
EFICIÊNCIA (%)	4,571	4,543	4,416	2,573
HORÁRIO DA MEDIÇÃO	12H45	13H03	14H04	13H05

Fonte: O autor (2014)

Tabela 14 – Medições ao meio-dia – Leste

ENSAIO 2.4 - 30/01/2014	LESTE	P1	RESISTÊNCIA: 1KΩ	
INCLINAÇÃO	19°17'	26°34'	47°	68°
POTÊNCIA SOLAR (W/M2)	860	932	940	1018
TENSÃO (V)	2,002	2,025	1,973	1,599
CORRENTE (A)	1,146	1,162	1,137	0,973
POTÊNCIA DO MÓDULO PV (W)	2,294	2,353	2,243	1,556
TEMPERATURA AMBIENTE (C)	34	34	34	34
TEMPERATURA MODULO PV (C)	47,1	45,7	44,4	51,2
TEMPERATURA TELHA (C)	45,6	45,1	45,4	49,1
EFICIÊNCIA (%)	5,558	5,260	4,972	3,184
HORÁRIO DA MEDIÇÃO	13H21	13H20	13H19	13H09

Fonte: O autor (2014)

Tabela 15 – Medições pela manhã – Norte

ENSAIO 3.1 - 31/01/2014	NORTE	P1	RESISTÊNCIA: 1KΩ	
INCLINAÇÃO	19°17'	26°34'	47°	68°
POTÊNCIA SOLAR (W/M2)	477	479	485	482
TENSÃO (V)	1,670	1,339	0,458	0,395
CORRENTE (A)	0,940	0,770	0,273	0,232
POTÊNCIA DO MÓDULO PV (W)	1,570	1,031	0,125	0,092
TEMPERATURA AMBIENTE (C)	25	25	25	25
TEMPERATURA MODULO PV (C)	27,9	28,7	30,8	30,8
TEMPERATURA TELHA (C)	27,2	27,6	28,5	29,8
EFICIÊNCIA (%)	6,856	4,484	0,537	0,396
HORÁRIO DA MEDIÇÃO	9H25	9H27	9H29	9H31

Fonte: O autor (2014)

Tabela 16 – Medições pela manhã – Oeste

ENSAIO 3.2 - 31/01/2014	OESTE	P1	RESISTÊNCIA: 1KΩ	
INCLINAÇÃO	19°17'	26°34'	47°	68°
POTÊNCIA SOLAR (W/M2)	495	490	482	486
TENSÃO (V)	1,083	0,586	0,293	0,278
CORRENTE (A)	0,657	0,359	0,177	0,176
POTÊNCIA DO MÓDULO PV (W)	0,712	0,210	0,052	0,049
TEMPERATURA AMBIENTE (C)	25	25	25	25
TEMPERATURA MODULO PV (C)	29,4	28,1	28,7	30,6
TEMPERATURA TELHA (C)	31,3	30,7	31,2	30,7
EFICIÊNCIA (%)	2,995	0,894	0,224	0,210
HORÁRIO DA MEDIÇÃO	9H39	9H37	9H36	9H34

Fonte: O autor (2014)

Tabela 17 – Medições pela manhã – Sul

ENSAIO 3.3 - 31/01/2014	SUL	P1	RESISTÊNCIA: 1KΩ	
INCLINAÇÃO	19°17'	26°34'	47°	68°
POTÊNCIA SOLAR (W/M2)	456	463	468	475
TENSÃO (V)	2,067	2,060	2,055	2,012
CORRENTE (A)	1,155	1,163	1,120	1,104
POTÊNCIA DO MÓDULO PV (W)	2,387	2,396	2,302	2,221
TEMPERATURA AMBIENTE (C)	26	26	26	26
TEMPERATURA MODULO PV (C)	33,8	36,3	39	43,3
TEMPERATURA TELHA (C)	31,3	31,2	33,4	35,1
EFICIÊNCIA (%)	10,907	10,780	10,246	9,742
HORÁRIO DA MEDIÇÃO	9H42	9H43	9H44	9H45

Fonte: O autor (2014)

Tabela 18 – Medições pela manhã – Leste

ENSAIO 3.4 - 31/01/2014	LESTE	P1	RESISTÊNCIA: 1KΩ	
INCLINAÇÃO	19°17'	26°34'	47°	68°
POTÊNCIA SOLAR (W/M2)	528	526	529	523
TENSÃO (V)	2,009	2,018	2,042	2,049
CORRENTE (A)	1,051	1,070	1,069	1,098
POTÊNCIA DO MÓDULO PV (W)	2,111	2,159	2,183	2,250
TEMPERATURA AMBIENTE (C)	26	26	26	26
TEMPERATURA MODULO PV (C)	49,5	48,2	48,2	47,4
TEMPERATURA TELHA (C)	38,1	37,9	38,1	38,1
EFICIÊNCIA (%)	8,331	8,552	8,597	8,962
HORÁRIO DA MEDIÇÃO	9H51	9H50	9H48	9H47

Fonte: O autor (2014)

Tabela 19 – Medições pela tarde – Norte

ENSAIO 4.1 - 31/01/2014	NORTE	P1	RESISTÊNCIA: 1KΩ	
INCLINAÇÃO	19°17'	26°34'	47°	68°
POTÊNCIA SOLAR (W/M2)	251	300	278	246
TENSÃO (V)	1,349	1,677	1,454	0,945
CORRENTE (A)	0,732	0,988	0,878	0,583
POTÊNCIA DO MÓDULO PV (W)	0,987	1,657	1,277	0,551
TEMPERATURA AMBIENTE (C)	33	33	33	33
TEMPERATURA MODULO PV (C)	33,7	34	39,3	37,5
TEMPERATURA TELHA (C)	34,4	36,6	35,2	34
EFICIÊNCIA (%)	8,196	11,506	9,567	4,666
HORÁRIO DA MEDIÇÃO	17H26	17H27	17H29	17H30

Fonte: O autor (2014)

Tabela 20 – Medições pela tarde – Oeste

ENSAIO 4.2 - 31/01/2014	OESTE	P1	RESISTÊNCIA: 1KΩ	
INCLINAÇÃO	19°17'	26°34'	47°	68°
POTÊNCIA SOLAR (W/M2)	405	360	269	478
TENSÃO (V)	1,930	1,894	1,824	2,027
CORRENTE (A)	1,045	1,091	1,055	1,147
POTÊNCIA DO MÓDULO PV (W)	2,017	2,066	1,924	2,325
TEMPERATURA AMBIENTE (C)	33	33	33	33
TEMPERATURA MODULO PV (C)	37,6	37,9	39,7	41,7
TEMPERATURA TELHA (C)	35,6	35,2	35,8	36,8
EFICIÊNCIA (%)	10,375	11,958	14,903	10,133
HORÁRIO DA MEDIÇÃO	17H34	17H33	17H32	17H32

Fonte: O autor (2014)

Tabela 21 – Medições pela tarde – Sul

ENSAIO 4.3 - 31/01/2014	SUL	P1	RESISTÊNCIA: 1KΩ	
INCLINAÇÃO	19°17'	26°34'	47°	68°
POTÊNCIA SOLAR (W/M2)	264	270	325	306
TENSÃO (V)	0,726	0,550	0,274	0,212
CORRENTE (A)	0,471	0,359	0,163	0,137
POTÊNCIA DO MÓDULO PV (W)	0,342	0,197	0,045	0,029
TEMPERATURA AMBIENTE (C)	33	33	33	33
TEMPERATURA MODULO PV (C)	34,7	33,3	33,4	36
TEMPERATURA TELHA (C)	33,6	33,5	34	35
EFICIÊNCIA (%)	2,698	1,524	0,286	0,198
HORÁRIO DA MEDIÇÃO	17H36	17H37	17H38	17H39

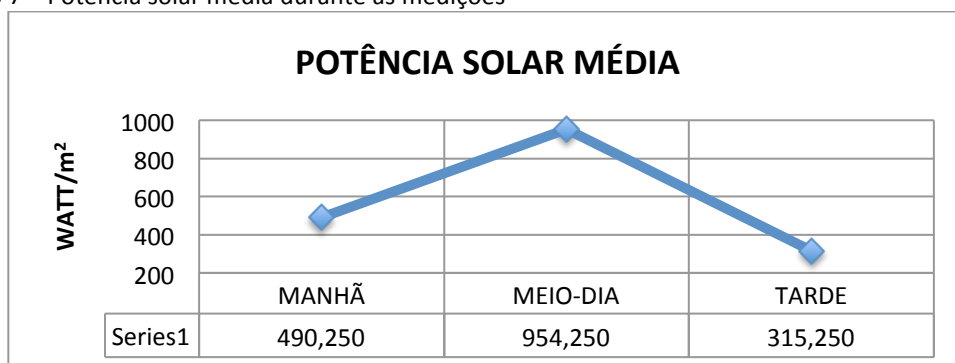
Fonte: O autor (2014)

Tabela 22 – Medições pela tarde – Leste

ENSAIO 4.4 - 31/01/2014	LESTE	P1	RESISTÊNCIA: 1KΩ	
INCLINAÇÃO	19°17'	26°34'	47°	68°
POTÊNCIA SOLAR (W/M2)	345	346	316	285
TENSÃO (V)	0,445	0,314	0,277	0,262
CORRENTE (A)	0,288	0,205	0,181	0,165
POTÊNCIA DO MÓDULO PV (W)	0,128	0,064	0,050	0,043
TEMPERATURA AMBIENTE (C)	33	33	33	33
TEMPERATURA MODULO PV (C)	32,2	32,7	33,9	36,4
TEMPERATURA TELHA (C)	33,8	34,2	34,9	36,2
EFICIÊNCIA (%)	0,774	0,388	0,331	0,316
HORÁRIO DA MEDIÇÃO	17H42	17H41	17H41	17H40

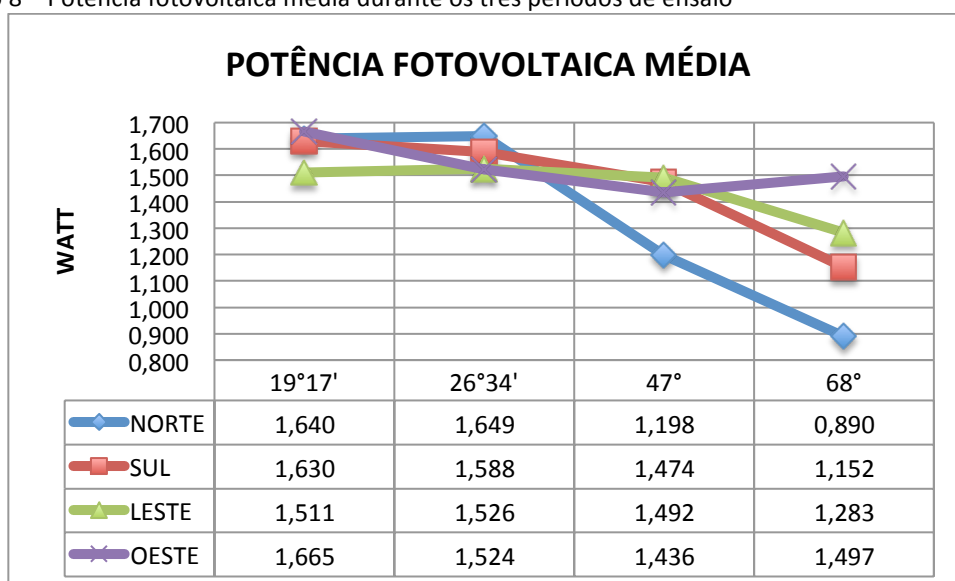
Fonte: O autor (2014)

Gráfico 7 – Potência solar média durante as medições



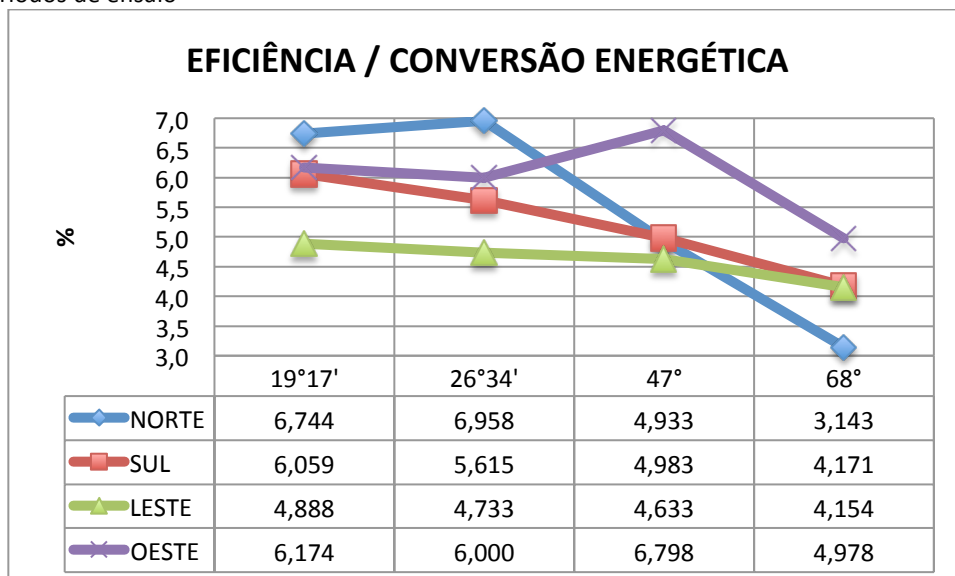
Fonte: O autor (2014)

Gráfico 8 – Potência fotovoltaica média durante os três períodos de ensaio



Fonte: O autor (2014)

Gráfico 9 – Eficiência energética média na conversão da irradiação pelo efeito fotovoltaico durante os três períodos de ensaio



Fonte: O autor (2014)

Para se mensurar a geração e a utilização da energia fotovoltaica, de fato, a potência gerada em Watts é uma informação muito relevante, no entanto, as potências alcançadas devem-se à muitas variáveis, mas principalmente à potência da irradiação solar, que quanto mais elevada tende a aumentar a potência convertida pelo efeito fotovoltaico.

Devido à grande variação na irradiação durante todo o dia, o dado mais relevante para se avaliar nos geradores fotovoltaico é a sua eficiência na conversão, pois expressa uma relação direta com a irradiação solar e a capacidade dos geradores converterem a irradiação em energia.

Um gerador fotovoltaico é mais eficiente quando está em posição perpendicular ao sol. Habitualmente, os geradores integrados às edificações são estáticos e, para maximizar sua potência, devem estar inclinados e orientados para a direção que ofereça a maior insolação durante todo o dia em todos os meses do ano. A inclinação que oferece maior perpendicularidade ao sol, no eixo norte-sul é a latitude da área onde os geradores serão instalados.

O testes com o protótipo 1 demonstraram que a orientação ao norte é a mais eficiente para a telha fotovoltaica, juntamente com a inclinação de $26^{\circ}34'$, que refere-se à inclinação mínima da telha plana da Tégula sem a necessidade de aplicação do foil, está muito próximo à latitude do município de Curitiba, onde foram efetuados os ensaios, há $25^{\circ}25'40''$.

5.4 Análise Preliminar dos Parâmetros de Design Sustentável

Conforme exposto por Manzini & Vezzoli (2008), para um produto ser considerado eco-eficiente ele deve satisfazer diversos requisitos, além dos ambientais, como de prestação de serviço, tecnológico, econômicos, legislativos, culturais e estéticos. As estratégias adotadas para a concepção do protótipo das telhas fotovoltaicas e para seu

processo de desenvolvimento buscaram antecipar as fases de seu ciclo de vida do produto. Aplicando-se uma análise abordando as estratégias de *Life Cycle Design* propostas por Manzini & Vezzoli (2008), tem-se o seguinte:

Quadro 9 - Resultados preliminares dos parâmetros de Design Sustentável - Conforme Manzini & Vezzoli (2008)

Parâmetros de Design Sustentável - Conforme Manzini & Vezzoli (2008)	Resultados preliminares
- Minimização dos recursos:	- O produto final possui a mesma dimensão da telha plana da Tégula, mas a área de concreto, foi reduzida, diminuindo em aproximadamente 0,5m ³ de concreto a cada 1.000 telhas produzidas.
- Escolhas de recursos e processo de baixo impacto ambiental:	- A utilização de RCD na base da telha substitui a areia de cava extraída do meio ambiente. - Parte do módulo solar é constituído de alumínio, que pode ser oriundo de reaproveitamento.
- Otimização da vida dos produtos:	- Todos os materiais utilizados possuem grande durabilidade. A estimativa do ciclo de vida útil da telha fotovoltaica é de aproximadamente 25 anos, podendo ultrapassar os 30 anos.
- Extensão da vida dos materiais:	- A constituição da telha fotovoltaica a partir de 2 elementos independentes permite a manutenção durante o ciclo de vida do produto. Quando concluído um ciclo, a base da telha, pode ser reutilizada como RCD, a base do módulo pode servir para acondicionar novas células ou para ser reaproveitado. A cobertura em policarbonato, tal qual a base de alumínio, pode ser polida e reaproveitada para recobrir outros módulos.
-Facilidade de desmontagem:	- O módulo fotovoltaico e a base da telha são elementos individuais e facilmente separáveis. A vedação existente entre a placa de policarbonato e o alumínio do módulo fotovoltaico, separam-se exercendo pouca pressão. O EVA que recobre as células também pode ser retirado das células sem dificuldades.

Fonte: O autor (2014)

5.5 Visão geral do processo de colaboração realizado

Ao se iniciar esta pesquisa, o objetivo era a produção de um componente construtivo, baseado em resíduos de construção e demolição, capaz de gerar energia fotovoltaica, pois até então o produto a ser estudado e desenvolvido baseava-se nos conhecimentos dos participantes do grupo: Solbravo, Soliforte e Senai. Naturalmente a telha de concreto já se apresentava como o produto com maior viabilidade para a obtenção de êxito, até mesmo pelo fato da Solbravo produzir e comercializar uma telha fotovoltaica. A partir da adesão empresa Tégula ao grupo de colaboração, esta suspeição se confirmou como objetivo, agregando valor à pesquisa e aos ideais de se constituir um produto sustentável, em sua ênfase, na economia para o usuário e para a sociedade e também para as empresas, que poderão desenvolver, caso assim desejarem, um produto com baixo impacto em sua linha produtiva e de grande valor e apelo agregado.

O desenvolvimento em colaboração demanda a disponibilidade de pessoas que representem e respondam por cada um dos participantes (CHIU, 2002). Tais participantes podem definir no grupo quais atividades serão desenvolvidas dentro das estruturas de cada um dos participantes e quais ações precisarão ser terceirizadas. Outra opção, a que foi utilizada nesta pesquisa, onde um dos atores é o gestor e centralizador de todas as atividades, mantendo contato e repassando informações aos representantes das empresas. Contudo, neste modelo, foi necessária a seleção de uma instituição apta para atuar nestes moldes. O Senai, representado por este pesquisador, fomenta e desenvolve projetos de inovação em todas as suas unidades do Brasil, com intuito de fortalecer a indústria nacional. Grande parte do desenvolvimento do conceito e do produto foi executado pelo autor e pela equipe do Senai, utilizando os equipamentos e recursos desta instituição (FATHIANATHAM & PANCHAL, 2009; CHIU, 2002; ROBIN et al., 2006; SENAI, 2013).

Conforme Heemann *et al.* (2008-b), a crescente pressão para o atendimento de múltiplos requisitos de projeto em curtos espaços de tempo, designer do mundo todo

vêm buscando maneiras de aprimorar e otimizar os resultados de seus trabalhos, especialmente para a concepção de produtos de tecnologia, devido a inúmeras variáveis, superam a capacidade de resposta individual do projetista, enfatizando a relevância científica da colaboração no Design.

O presente estudo aborda, além de temas oriundos no design -especialmente em PDP, design sustentável e o desenvolvimento colaborativo-, conteúdos específicos das engenharias civil, elétrica, de materiais e da arquitetura, que denotam o processo colaborativo como o elemento superveniente à característica interdisciplinar do design, evidenciando a necessidade de interações e associações de expertises para se atingir os resultados esperados por todos os envolvidos, caracterizando a colaboração no Design como uma ferramenta transdisciplinar (MORIN, 2000).

No desenvolvimento desta pesquisa, o processo colaborativo ocorreu principalmente com o compartilhamento de informações e fornecimento de parte dos materiais por todos os envolvidos. Considerando que esta pesquisa, é principalmente de cunho acadêmico aplicado, naturalmente as principais atribuições de níveis tático, estratégico e operacionais ficaram sob a responsabilidade do autor, cenário que não é o desejado em um processo colaborativo que enseja o compartilhamento de todas as atribuições. Não havendo uma classificação formal no campo de estudo de Design colaborativo, uma pesquisa aplicada utilizando as premissas da colaboração no desenvolvimento de um produto, poderá avaliar a colaboração focada nas diversas etapas do desenvolvimento, sendo que a pesquisa como um todo, pode ser avaliada como um processo colaborativo embrionário, que enseja sua aplicação de fato (HEEMANN et al., 2008-a).

Considerando que os conhecimentos e as atividades dos atores envolvidos abrangeram a maior parte das etapas para o desenvolvimento do produto, a seleção do grupo de colaboração pôde ser considerada satisfatória.

Capítulo 6 | Considerações finais

6.1 Considerações sobre os resultados atingidos

O presente trabalho buscou apresentar a aplicação de conceitos do design sustentável e do design colaborativo no desenvolvimento de uma telha fotovoltaica utilizando resíduos de construção e demolição em sua composição. As definições apresentadas para este desenvolvimento podem ser utilizadas e aperfeiçoadas por designers e também por profissionais de outras áreas do conhecimento como engenharia e arquitetura, dentre outros.

Para alcançar os objetivos da pesquisa, após o aprofundamento no referencial teórico, um grupo de colaboração foi formado e então optou-se pela aplicação da metodologia da pesquisa-ação, que demonstra-se adequada para a produção de conhecimento e para descrever os desdobramentos de uma série de ações ao longo do tempo, em um dado grupo, comunidade ou organização. Sua aplicação é também congruente para a solução de problemas nos quais pesquisadores e participantes estão envolvidos de modo colaborativo. Deste modo, formou-se um grupo de colaboração com empresas

que reúnam expertises e competências necessárias para o desenvolvimento de um produto, que é o resultado do compartilhamento de informações de diversas áreas do conhecimento e da experiência de vários setores industriais.

Orientado pela metodologia da pesquisa-ação, seis ciclos de pesquisa foram concebidos para se auferir por etapas os requisitos do produto e aprimorar seu desenvolvimento.

O primeiro ciclo determinou, por meio da participação da Tégula, a seleção de uma telha, como componente construtivo fotovoltaico pois, pelo fato de ser produzida com concreto, viabilizaria a possível utilização de resíduos de construção e demolição provenientes do concreto em sua composição, fornecido pela Soliforte. A opção por modificações em um modelo de telha já em linha, deve-se especialmente para se reduzir os custos de implantação, pois somente o ferramental intercambiável da extrusora precisará ser produzido, utilizando os mesmos moldes da telha Plana e, eliminando, um custo de aproximadamente R\$ 60.000,00, necessários para a confecção de 1.000 moldes. A Solbravo, que já produz uma telha fotovoltaica, orientou a utilização de células solares fotovoltaicas de silício policristalino, devido a seu baixo custo, a possibilidade de gerar energia mesmo em momentos nos quais a irradiação solar não é direta e por sua durabilidade, capaz de superar 30 anos de vida útil, semelhante à vida útil de uma telha de concreto.

Os testes com RCD apresentaram resultados de resistência axial satisfatórios, segundo a Soliforte, que atribui os valores atingidos à eliminação do material classificado com dimensionamento abaixo de 75 μ m e acima de 2,35mm durante a granulometria. Contudo, os resultados denotam uma expectativa de viabilidade que somente poderá ser confirmada após a realização de testes em extrusoras, o que não foi possível durante a execução desta pesquisa, contudo, a proposta de produção da telha foi validada pela Tégula que argumenta, baseada nos resultados com o RCD e no design do novo perfil para a telha, que não deverão apresentar problemas sendo a produção viável.

A telha fotovoltaica, por fim, apresentou bons resultados de eficiência na conversão da irradiação solar em energia fotovoltaica. Recomenda-se que para a produção, tal qual o protótipo avaliado, existam dutos de ventilação entre o módulo e a telha, além da adição de pigmentos, ou a pintura da superfície exposta do concreto em cores claras, para se reduzir a temperatura do sistema e melhorar o conforto térmico da habitação.

Esta pesquisa contribui para o campo do design por apresentar a aplicação de pré-requisitos de design sustentável, considerando o prolongamento do ciclo de vida do produto, seu descarte e reaproveitamento, além de conceber o produto utilizando resíduos de construção e demolição. Face aos conhecimentos necessários para tal desenvolvimento, a formação de um grupo de empresas que compartilharam informações baseadas em redes de colaboração, evidenciou a necessidade e importância da utilização desta ferramenta para o desenvolvimento de inovações. O design colaborativo foi explorado em seus preceitos e critérios demonstrando diversos níveis de interação, compartilhamento e colaboração, em todas as fases do desenvolvimento do projeto, apresentando um campo aberto para classificação dos níveis de colaboração e o aprofundamento na relação transdisciplinar do design colaborativo.

6.2 Recomendações para futuras pesquisas

Contextualizando experiências futuras, recomenda-se a análise pontual dos ciclos de pesquisa-ação para desdobramentos em profundidade nos seguintes tópicos:

- Avaliação dos índices de sustentabilidade considerando materiais utilizados e o *life cycle design*;
- Os resíduos de construção e demolição (RCD), originados do concreto, cerâmica e mistos, como insumo para outros produtos e elementos construtivos, avaliando e mensurando os impactos provenientes de sua utilização;

- Aprofundar pesquisas que possibilitem a aplicação de células fotovoltaicas no entorno construído (BIPV), explorando novos materiais para o encapsulamento das células e para a substituição dos materiais habitualmente aplicado na construção civil, explorando elementos da estética a partir de formas, cores sob a ótica da funcionalidade;
- Aprofundar estudos sobre a colaboração e sua interação no campo de estudo do design e como ferramenta de aplicação, interdisciplinar, multidisciplinar e transdisciplinar para fomento da inovação e desenvolvimento de produtos que atendam a demandas sustentáveis. Também foi evidenciado neste trabalho, uma lacuna sobre a classificação dos níveis de abordagem e aplicação do Design colaborativo de acordo com a metodologia de trabalho e a aproximação e compartilhamento dos envolvidos em uma rede colaborativa.

Referências Bibliográficas

ABAL - Associação Brasileira do Alumínio. Fundamentos e aplicações do alumínio. São Paulo: ABAL, 2007.

ABRAMAT/FGV. **Perfil da cadeia produtiva da construção e da Indústria de materiais e equipamentos**. São Paulo: ABRAMAT, 2010.

ALENCAR, C.O.C., ACCIOLI, J., BELLIO, L. Sustentabilidade no design: A transversalidade das teorias filosóficas e suas articulações na contemporaneidade complexa. **ModaPalavra E-periódico**, Florianópolis, ano 5, n. 9, p. 95-115, 2012.

AMBIENTE BRASIL. **Histórico das células fotovoltaicas e a evolução da utilização de energia solar**. Disponível em:
<http://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/energia_solar/historico_das_celulas_fotovoltaicas_e_a_evolucao_da_utilizacao_de_energia_solar.html>. Acesso em: 17/03/2013

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Atlas de energia elétrica do Brasil. Brasília: Aneel, 2008.

_____. Resolução Normativa nº 482 de 17 de abril de 2012. Brasília: Aneel, 2012.

_____. Tarifas da Classe de Consumo Residencial.
<<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/tarifaAplicada/>>. Acesso em 02/02/2014.

BACK, N. et al. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Barueri: Manole, 2008.

BAXTER, M. **Projeto de produto: Guia prático para o design de novos produtos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2000.

BLUESOL Educacional. Energia solar: como funciona < <http://www.bluesol.com/energia-solar/energia-solar-como-funciona-tipos-de-celulas-fotovoltaicas/>>. 2012. Acesso em 17/03/2013.

BODON, J.H., PELEGRINI, A.V. **Apontamentos sobre a viabilidade de aplicação de resíduos de construção e demolição (RCD) em telhas fotovoltaicas**. In: Congresso Internacional de Bioenergia, 8., 2013, São Paulo. **Anais ...** São Paulo, 2013.

BODON, J.H., PELEGRINI, A.V., HEEMANN, A. **Sistemas fotovoltaicos integrados em edificações: Tecnologias e oportunidades com foco no mercado brasileiro.** In: Congresso Internacional de Bioenergia, 8., 2013, São Paulo. **Anais ...** São Paulo, 2013.

BRASIL. Decreto-lei n. 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, P. 2. 03 ago. 2010

BUNDTLAND Commission. **Our common future:** report of the world commission on environment and development. UN, 1987. Disponível em: < <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>>. Acesso em 20/03/2013.

CABRAL, A.E.B., MOREIRA, K.M.V. Manual sobre resíduos sólidos da construção. Fortaleza: Sinduscom - CE, 2011

CHANDOR, A., GRAHAM, J., WILLIANSON, R. **Análise de sistemas:** teoria e prática. Rio de Janeiro: LTC, 1977.

CHAVES, M.A. **Projeto de pesquisa:** guia prático para monografia. Rio de Janeiro: Wak, 2007.

CHEMISANA, D. **Building Integrated concentrating photovoltaics:** A review. Lleida: Elsevier, 2010.

CHIU, M. **An organizational view of design communication in design collaboration.** Tainan: Elsevier, 2002.

CHOW, T.T., HAND, J.W., STRACHAM, P.A. **Building-integrated photovoltaic and thermal applications in a subtropical hotel building.** Hong Kong: Elsevier, 2003.

CLEMENTS-CROOME, D.J. **Building environmental engineering:** The invisible architecture. Department of Construction Management and Engineering. University of Reading. 2001.

CODDINGTON, M.H., MARGOLIS, R.M., AABAKKEN, J. **Utility-Interconnected Photovoltaic Systems:** Evaluating the Rationale for the Utility-Accessible External Disconnect Switch. Colorado: U.S. Department of Energy, 2008.

CNI. Confederação Nacional da Indústria. **Construção Verde:** Desenvolvimento com Sustentabilidade. Brasília: CNI, 2012.

CNM. Confederação Nacional dos Municípios. **Informativo CNM:** Meio ambiente. Brasília: CNM, 2011.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução 307: Diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. 2002

CREATEC. Resíduos de Construção e Demolição (RCD). Jornal Meio Ambiente da Createc, 07 dez 2011, <<http://www.jornalmeioambiente.com/materia/655/residuos-de-construcao-e-demolicao-rcd>>. Acesso em 15/03/2013

DYNAMIC SOLAR TECH. **Building integrated solar: Solar Cladding**. 2013. <<http://dynamicsolartech.com/solutions/building-integrated-photovoltaics-bipv-installation/>>. Acesso em 15/10/2013

DURUGBO, C., HUTABARAT, W., TIWARI, A., ALCOCK, J.R. **Modelling collaboration using complex networks**. Reino Unido: Elsevier, 2011.

EEG. **Renewable Energy Sources Act: The success story of sustainable policies for Germany**. Berlin: BMU, 2007.

EIA. International Energy Outlook. 2009. <[http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/pdf/0484\(2009\).pdf](http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/pdf/0484(2009).pdf)>. Acesso em 18/08/09.

ERNST & YOUNG e FGV. **Brasil Sustentável: Desafios do mercado de Energia**. 2010. <http://www.ey.com.br/BR/pt/Issues/Driving-growth/Analises_Perspectivas_-_Brasil_Sustentavel_-_Apresentacao>. Acesso em 18/10/2010.

ETERNIT. Grupo Eternit. Sobre a Eternit. 2013. <<http://www.eternit.com.br/sobre-a-eternit/grupo>>. Acesso em 18/12/2013

FATHIANATHAM, M., PANCHAL, J.H. **Incorporating design outsourcing decision within the design of collaborative design processes**. Cingapura: Elsevier, 2009.

FELDMAN, D. et al. **Photovoltaic System Pricing Trends: Historical, Recent, and Near-Term Projections 2013 Edition**. 2013. <<http://emp.lbl.gov/sites/all/files/presentation.pdf>>. Acesso em 25/09/2013.

FERNANDES, I. **Telhas de concreto: Produção e controle de qualidade**. São Paulo: Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais, 2012.

FIESP. Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. Notícias. 2013. <<http://www.fiesp.com.br/noticias/michel-temer-o-construbusiness-e-uma-importante-conexao-entre-a-iniciativa-privada-e-governo/>>. Acesso em 05/03/2013

FONTANA, I.M., HEEMANN, A., FERREIRA, M.G.G. **Design colaborativo e inovação: um estudo preliminar rumo a maiores níveis de sustentabilidade.** In: Simpósio Paranaense de Design Sustentável, 4., 2012, Curitiba. Anais... Curitiba: UFPR, 2012. (a)

_____. **Design colaborativo: fatores críticos para o sucesso do Co-design.** In: Congresso Sul Americano de Design de Interação, 4., 2012, São Paulo. Anais... São Paulo: Blücher, 2012. (b)

FREIRE, A.C., NEVES, J., ROQUE, A.J., MARTINS, I.M., ANTUNES, M.L., FARIA, G. **Aplicação de resíduo de construção e demolição (RCD) em camadas granulares de pavimentos rodoviários validada em trecho piloto.** In: Congresso Rodoviário Português, 7., 2013, Lisboa. Anais... Lisboa: CRP, 2013.

FREITAS, M., BASTOS JR, P.A., BREHM, M.A., ENRICONI, A., THOMAZI, F., SILVESTRE, R.G.M., PELEGRINI, A.V., CELLA, JR. **Análise de viabilidade financeira na aplicação de telhas fotovoltaicas em habitações de interesse social sustentáveis.** In: Congresso Internacional de Bioenergia, 7., 2012, São Paulo. Anais ... São Paulo, 2012.

GALDINO, M.A. **Análise de custos históricos de sistemas fotovoltaicos no Brasil.** In: Congresso Brasileiro de Energia Solar, 4., São Paulo. Anais... São Paulo, 2012.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4.ed. São Paulo: Atlas, 2002.

_____. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 6.ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOMES, N.S., PRADO, G.C., ROSA, I.M., CHAVES, L.I. **Gestão do Design e o Design Sustentável.** In: Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, 9., São Paulo. Anais... São Paulo, 2010.

GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. **Guia para uma Obra mais Verde: Guia prático para Construções Sustentáveis.** 2010. < <http://www.gbcbrazil.org.br/pt/>>. Acesso em 15/10/2010.

GREEN OPTION. Breakthrough reported on low-cost alternative to silicon solar cells. <<http://www.greenoptions.com/t/1567/breakthrough-reported-on-low-cost-alternative-to-silicon-solar-cells>>. Acesso em 17/03/2013.

GREENPRO. **Energia Fotovoltaica: Manual sobre tecnologias, projetos e instalação.** 2004.

GTM RESEARCH. **Building Integrated Photovoltaics: An Emerging Market (Executive Summary).** 2010.

GUTMANN, F., OLIVEIRA, N. **Efeito Fotoelétrico.** Salvador: UFBA, 2002.

HASWANI, M.F. A comunicação do Estado democrático de direito na mobilização para a sustentabilidade. In: Congresso Brasileiro Científico de Comunicação Organizacional de Relações Públicas, 2., 2008, Belo Horizonte. **Anais ...** Belo Horizonte: ABRAPCORP, 2008.

HEEMANN, A., LIMA, P.J.V., CORRÊA, J.S. **Compreendendo a Colaboração em Design de Produto**. In: Encuentro Lati-noamericano de Diseño 2008. Facultad de Diseño y Comunicación. Universidad de Palermo. Palermo, 2008. (a)

_____. **Fundamentos para o alcance da Colaboração em Design**. In: Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, 8., 2008, São Paulo. **Anais ...** São Paulo: AEND, 2008. (b)

HESTNES, A.G. **Building integration of solar energy systems**. Trondheim: Elsevier, 2000.

JELLE, B.P., BREIVIK, C., ROKENES, H. D. **Building integrated photovoltaic products: A state-of-the-art review and future research opportunities**. Trondheim: Elsevier, 2012.

KANN, S. **Global PV Demand Analysis and Forecast 2010: Executive Summary**. GTM RESEARCH, 2010.

KRAFTA, L., FREITAS, H., MARTENS, C.D.P. O método da pesquisa-ação: um estudo em uma empresa de coleta e análise de dados. **Revista Quanti & Quali**, 2009.
<http://www.faccat.br/download/pdf/posgraduacao/profaberenice/09pesquisa_acao_2009_3.pdf>. Acesso em 18/03/2013

KVAN, T. **Collaborative design: what is it?** Hong Kong: Elsevier, 2000.

LEITE, L.R., ARAUJO, J.B., MARTINS, R.A. Sustentabilidade como direcionador de evolução dos sistemas de medição de desempenho, **Navus – Revista de Gestão e Tecnologia**. Florianópolis, SC, v. 1, n. 1, p. 35-50, 2011.

LEVINSON, Ronnen et al. **Solar access of residential rooftops in four California cities**. Sacramento: Elsevier, 2009.

LIMA, P.J.V., HEEMANN, A. **Premissas para o alcance do trabalho colaborativo em Design**. In: Congresso Internacional de Pesquisa em Design, 5., 2009, Bauru. **Anais ...** Bauru, 2009.

LINSTONE, H. A., TUROFF, M. **The Delphi method: Techniques and application**. 2002

LÖBACH, B. **Design industrial** – Bases para a configuração dos produtos industriais. São Paulo: Blucher, 2001.

MAGNAGO, P.F., AGUIAR, J.P.O., PAULA, I.C. Sustentabilidade em desenvolvimento de produtos: uma proposta para a classificação de abordagens. **Revista Produção Online**, Florianópolis, v. 12, n. 2, p. 351-376, 2012.

MANUAL DE GESTÃO DE DESIGN. Porto: Centro Português de Design - CPD, 1997.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis**: os requisitos ambientais dos produtos industriais. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MARTINS, R.F.F., **A gestão de design como estratégia organizacional**: um modelo de integração do design em organizações. 202 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

MELLO, C.H.P., TURRIONI, J.B., XAVIER, A.F., CAMPOS, D.F. Pesquisa-ação na engenharia de produção: proposta de estruturação para sua condução. **Produção**, Itajubá, v. 22, n. 1, p. 1-13, 2010.

MENDONÇA, R.M., BARCA, O.G., ANDREASI, W.A. **Análise do desempenho térmico de telhas produzidas de resíduo de construção e demolição**. In: Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, 13., 2010, Canela. Anais... Canela: ENTAC, 2010.

MERCER. **Energy Efficiency and Real Estate**: Opportunities for Investors. 2009. <<http://www.ceres.org/resources/reports/energy-efficiency-and-real-estate-opportunities-2009>>. Acesso em: 15/08/2013.

MESSINGER, R.; VENTRE, J. **Photovoltaic Systems Engineering**. CRC Press, Boca Raton, FL, 2000.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2011.

MORIN, E. **A Cabeça bem-feita**: repensar a reforma, reformar o pensamento. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000.

MOZOTTA, B.B. **Gestão do Design**: Usando o design para construir valor de marca e inovação corporativa. Porto Alegre: Bookman, 2011.

NASA. National space science data center – Vanguard 1

<<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=1958-002B>>. Acesso em: 17/03/2013

NORTON, B. et al. **Enhancing the performance of building integrated photovoltaics**. Ireland: Elsevier, 2010.

NREL, National Renewable Energy Laboratory. **PVWatts**: A Performance Calculator for Grid-Connected PV Systems < <http://pvwatts.nrel.gov/pvwatts.php>>. Acesso em: 02/02/2014.

OLIVEIRA, J.S., COSTA, M.M., WILLE, M.F.C. **Introdução ao método Delphi**. Curitiba: Mundo Material, 2008.

PARIDA, B., INIYAN, S., GOIC, R. **A review of solar photovoltaic technologies**. Chennai: Elsevier, 2011.

PAROLIN, S.R.H. et al. **Inovação e propriedade intelectual na indústria**. Curitiba: SENAI/SESI, 2010.

PATRICIO, S.M.R., FIGUEIREDO, S.S., BEZERRA, I.M.T., NEVES, G.A., FERREIRA, H.C. **Blocos solo-cal utilizando resíduos da construção civil**. Cerâmica, São Paulo, v. 59, n. 349, 2013.

PAUL, D. et al. **Optimization of significant insolation distribution parameters – A new approach towards BIPV system design**. Kolkata: Elsevier, 2010.

PENG, Changhai, HUANG, Ying Huang, WU, Zhishen. **Building-integrated photovoltaics (BIPV) in architectural design in China**. Nanjing: Elsevier, 2011.

PEREIRA, E.B., MARTINS, F.R., ABREU, S.L., RÜTHER, R. **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos: INPE, 2006.

PÉREZ-LOMBARD, L. et al. **A review on buildings energy consumption information**. Energy and Buildings. 2008. p.394–398.

PORTAL ENERGIA. Principais tipos de células fotovoltaicas constituintes de painéis solares

<<http://www.portal-energia.com/principais-tipos-de-celulas-fotovoltaicas-constituintes-de-paineis-solares/>>. Acesso em: 17/03/2013.

POUSSARD, E. **Building Integrated Photovoltaics**. Paris: Comité de Liaison Energies Renouvelables. 2012.

RADHI, Hassan. **Energy analysis of façade-integrated photovoltaic system applied to UAE comercial buildings**. Al-ain: Elsevier, 2010.

REN21. Renewables 2010 Global Status Report. **Renewable Energy Policy Network for the 21st Century**. 2010. <<http://www.ren21.net/>>. Acesso em 20/08/2013.

ROBIN, V., ROSE, B., GIRARD, P. **Modelling collaborative knowledge support engineering design project manager**. Estrasburgo: Elsevier, 2006.

RODA, R., KRUCKEN, L. **Gestão do Design Aplicada ao Modelo Atual das Organizações: agregando valor a serviços**. In: Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, 6º, São Paulo. Anais do 6º P&D. São Paulo, 2004

RUTHER, Ricardo et al. **Potential of building integrated photovoltaic solar energy generators in assisting daytime peaking feeders in urban áreas in Brazil**. Florianópolis: Elsevier, 2007.

SAPA SOLAR. In: Building Integrated Photovoltaics. 2013. <<http://www.sapa-solar.com/sapa-building-system.html>>. Acesso em 10/04/2013.

SCHOEN, T.J.N. **Building-integrated PV installations in the Netherlands: Examples and operational experiences**. Utrecht: Elsevier, 2001.

SEBRAE, Serviço de Apoio às Micros e Pequenas e Empresas de Minas Gerais – Sustentabilidade e Responsabilidade Social. 2013
<http://www.sebraemg.com.br/Geral/VisualizadorConteudo.aspx?cod_areaconteudo=1879&navegacao=RENOVE_SEU_NEG%C3%93CIO/Sustentabilidade_e_Responsabilidade_Social>. Acesso em 15/03/2013.

SENAI, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. Institucional. 2013.
<<http://senaipr.org.br/o-senai/conheca/>>. Acesso em 10/03/2013.

SERODIO, L.M. **Estado da arte da obtenção de silício de grau solar**. Trabalho de graduação. Departamento de engenharia metalúrgica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

SILVA, E. L., MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. Florianópolis: UFSC, 2005.

SILVA, M.A.F. **Métodos e técnicas de pesquisa**. Curitiba: Ibpx, 2005.

SILVA JARDIM, Carolina et al. **The strategic siting and the roofing área requirements of building-integrated photovoltaic solar energy generators in urban áreas in Brazil**. Florianópolis: Elsevier, 2007.

SILVEIRA, P.E.M., NÓBREGA, C.A. **Aplicação do resíduo de construção e demolição em solo-cimento**. HOLOS Environment, Rio Claro, v. 5, n. 2, 2005

SOLBRAVO. Institucional. 2013. <<http://www.solbravo.com.br/institucional.html>>. Acesso em 2/03/2013.

SOLIFORTE. Empresa. 2013. <<http://www.soliforte.com.br/empresa/>>. Acesso em 9/03/2013.

TÁLAMO, J.R., CARVALHO, M.M. Cooperação com empresas de base tecnológica: pesquisa-ação no setor elétrico. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 19, n. 2, p. 433-444, 2012.

TÉGULA. Institucional. 2013. <<http://www.tegula.com.br/site/tegula/institucional.html>>. Acesso em 18/12/2013.

TÉGULA SOLUÇÕES PARA TELHADO. **Guia de telhas**. Atibaia: Tégula, 2012. 8p.

_____. Produtos. 2013. <<http://www.tegula.com.br/site/produtos/telhas-de-concreto.html>>. Acesso em 20/12/2013.

THIOLLENT, M., SILVA, G.O. Metodologia de pesquisa-ação na área de gestão de problemas ambientais. **Reciis**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p. 93-100, 2007.

THYSSENKRUPP. Steel solar facade. 2013. <<http://www.reflectionsone.de/en/referenzprojekte/solarfassade.jsp>>. Acesso em 15/10/2013.

TORRES, R.C. **Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais**. 2012. Dissertação (Mestrado). Escola de engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

TRIPP, D. Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. Tradução Lólio Lourenço de Oliveira. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 443-446, 2005.

WRIGHT, J. T. C., GIOVINAZZO, R. A. **Delphi**: Uma Ferramenta de apoio ao planejamento Prospectivo. São Paulo: Caderno de Pesquisas em Administração, 2000.

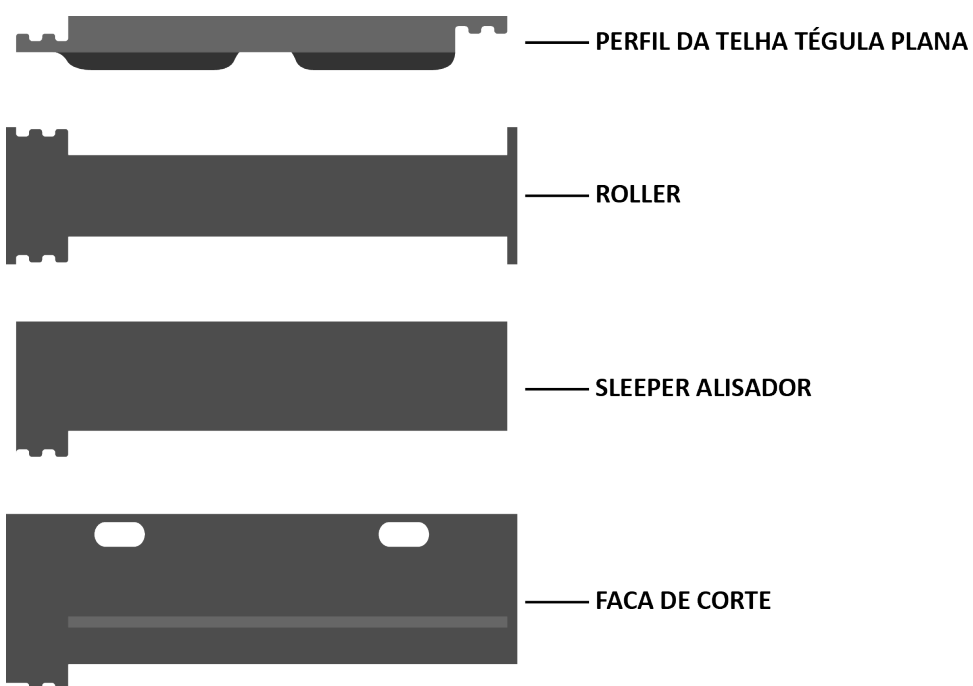
WWF-BRASIL. **Agenda elétrica sustentável 2020**: estudo de cenários para um setor elétrico brasileiro eficiente, seguro e competitivo. Brasília, 2006.

Apêndices

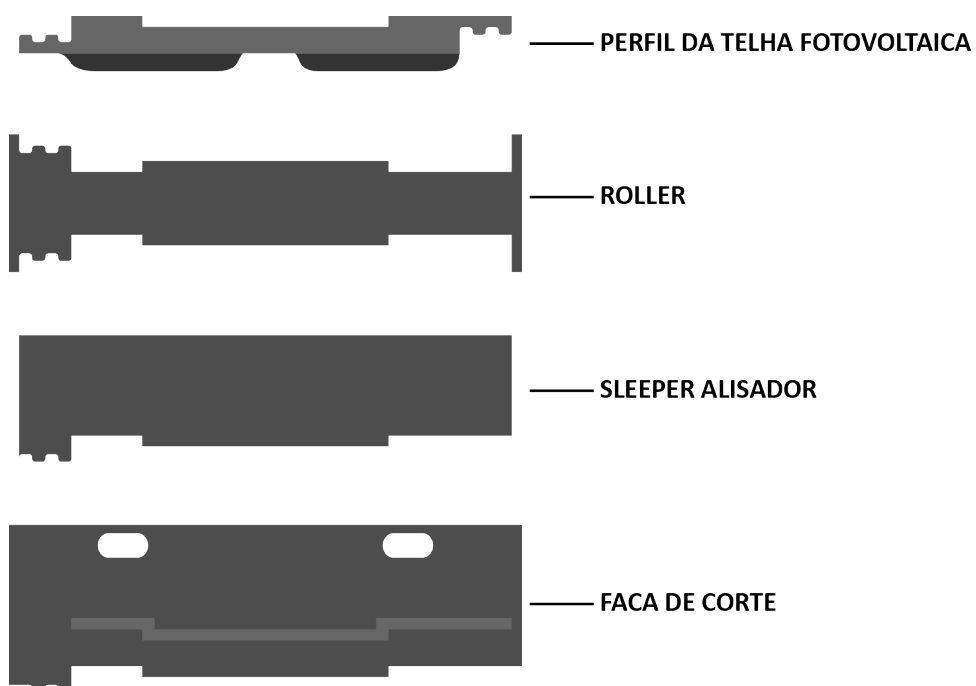
Apêndice A

Perfis e conjuntos de ferramentas para a extrusão das telhas Tégula Plana e da telha fotovoltaica

Perfil e conjunto de ferramentas para a extrusão da telha Tégula Plana:



Perfil e conjunto de ferramentas para a extrusão da telha fotovoltaica:



Apêndice B

Características determinantes para a produção de telhas a partir de RCD

Algumas características determinantes para a produção de telhas a partir de RCD que não puderam ser analisadas nos corpos de prova são as seguintes:

- a) Acabamento superficial (característica de lisura na superfície da telha);
- b) Características geométricas e percentual de tolerância em variações;
- c) Aspectos visuais (que não apresentem fissuras, bolhas, esfoliações, desagregações e quebras);
- d) Aparecimento de eflorescências;
- e) Variações na tonalidade das telhas;
- f) Quantidade de água adicionada à mistura;
- g) Comportamento com a adição de pigmentos;
- h) Comportamento com aditivos necessários para a extrusão;
- i) Tempo de cura para o desmolde da telha;
- j) Manutenção das dimensões após a cura;
- k) Absorção de água;
- l) Permeabilidade;
- m) Carga de ruptura à flexão;
- n) Comportamento diante de aplicação de pinturas protetoras ou revestimentos superficiais;

Tais características servirão para classificação da telha e readequação das proporções do agregado na formação do traço.

Apêndice C

Programação para usinagem da base do módulo fotovoltaico em CNC

Programação em software CAM (Manufatura auxiliada por computador)

EdgeCAM da base do módulo fotovoltaico usinada em equipamento CNC

(Centro de usinagem) em alumínio.

%	N75 X217.939 Y-86.028	N135 X-217.298 Y-	N188 G3 X-0.004
O0001 (Base Modulo PV	N76 X217.937 Y-86.041	88.376	Y93.502 R5.0 F2700.0
1)	N77 X217.842 Y-86.636	N136 X-217.3 Y-88.37	N189 G1 X209.818
N1 G17 G21 G40 G90	N78 X217.84 Y-86.642	N137 X-217.525 Y-	Y93.501 F3600.0
N2 G53 G0 Z-110 H0	N79 X217.701 Y-87.229	87.793	N190 X209.831 Y93.5
N3 T01 (USER DEFINED)	N80 X217.592 Y-87.598	N138 X-217.605 Y-	N191 X210.423 Y93.452
N4 M6	N81 X217.511 Y-87.833	87.555	N192 X211.022 Y93.365
N5 S3100 M3	N82 X217.275 Y-88.429	N139 X-217.715 Y-	N193 X211.028 Y93.364
N6 G54 G0 X220.0	N83 X217.27 Y-88.441	87.176	N194 X211.618 Y93.233
Y85.8 A0.0	N84 X216.974 Y-89.044	N140 X-217.854 Y-	N195 X212.216 Y93.062
N7 G43 Z5.15 H1D1 M8	N85 X216.971 Y-89.05	86.575	N196 X212.235 Y93.055
N8 G1 Z0.15 F4400.0	N86 X216.635 Y-89.626	N141 X-217.855 Y-	N197 X212.818 Y92.826
N9 X215.0	N87 X216.628 Y-89.637	86.568	N198 X213.415 Y92.552
N10 X-215.0	N88 X216.382 Y-89.991	N142 X-217.945 Y-	N199 X213.433 Y92.542
N11 G3 X-226.025	N89 X216.198 Y-90.23	85.977	N200 X214.012 Y92.206
Y74.775 R11.025	N90 X215.79 Y-90.72	N143 X-217.946 Y-	N201 X214.338 Y91.993
N12 G1 Y60.625	N91 X215.684 Y-90.834	85.964	N202 X214.619 Y91.785
N13 G3 X-215.0 Y49.6	N92 X215.177 Y-91.329	N144 X-217.991 Y-	N203 X215.213 Y91.299
R11.025	N93 X215.167 Y-91.337	85.372	N204 X215.228 Y91.285
N14 G1 X215.0	N94 X215.062 Y-91.425	N145 X-217.999 Y-	N205 X215.729 Y90.791
N15 G2 X226.025	N95 X214.583 Y-91.81	84.81	N206 X215.816 Y90.692
Y38.575 R11.025	N96 X214.285 Y-92.027	N146 Y84.826	N207 X216.229 Y90.196
N16 G1 Y24.425	N97 X213.97 Y-92.229	N147 X-217.988	N208 X216.409 Y89.956
N17 G2 X215.0 Y13.4	N98 X213.372 Y-92.572	Y85.434	N209 X216.666 Y89.581
R11.025	N99 X213.359 Y-92.577	N148 X-217.939	N210 X216.673 Y89.57
N18 G1 X-215.0	N100 X213.265 Y-	Y86.028	N211 X217.012 Y88.978
N19 G3 X-226.025	92.622	N149 X-217.937	N212 X217.015 Y88.973
Y2.375 R11.025	N101 X212.769 Y-	Y86.041	N213 X217.299 Y88.381
N20 G1 Y-11.775	92.843	N150 X-217.842	N214 X217.301 Y88.376
N21 G3 X-215.0 Y-22.8	N102 X212.172 Y-	Y86.636	N215 X217.538 Y87.779
R11.025	93.074	N151 X-217.84 Y86.642	N216 X217.54 Y87.773
N22 G1 X215.0	N103 X212.152 Y-93.08	N152 X-217.701	N217 X217.604 Y87.571
N23 G2 X226.025 Y-	N104 X211.561 Y-	Y87.229	N218 X217.718 Y87.175
33.825 R11.025	93.244	N153 X-217.592	N219 X217.857 Y86.575
N24 G1 Y-47.975	N105 X210.96 Y-93.373	Y87.598	N220 X217.858 Y86.568
N25 G2 X215.0 Y-59.0	N106 X210.954 Y-	N154 X-217.511	N221 X217.948 Y85.977
R11.025	93.374	Y87.833	N222 X217.949 Y85.964
N26 G1 X-215.0	N107 X210.361 Y-	N155 X-217.275	N223 X217.994 Y85.372
N27 X-220.0	93.456	Y88.429	N224 X218.002 Y84.81
N28 G0 Z5.0	N108 X209.759 Y-93.5	N156 X-217.27 Y88.441	N225 Y-84.826
N29 G53 G0 Z-110 H0	N109 X209.753	N157 X-216.974	N226 X217.991 Y-
N30 T02 (USER	N110 X-209.818 Y-	Y89.044	85.434
DEFINED)	93.498	N158 X-216.971 Y89.05	N227 X217.942 Y-
N31 M6	N111 X-209.831 Y-	N159 X-216.635	86.028
N32 S7000 M3	93.497	Y89.626	N228 X217.94 Y-86.041
N33 G54 G0 X-5.004	N112 X-210.423 Y-	N160 X-216.628	N229 X217.845 Y-
Y98.499	93.449	Y89.637	86.636
N34 G43 Z5.0 H2D2 M8	N113 X-211.016 Y-	N161 X-216.382	N230 X217.844 Y-
N35 Z1.0	93.363	Y89.991	86.642
N36 G40 G1 Z-2.5	N114 X-211.029 Y-	N162 X-216.198 Y90.23	N231 X217.705 Y-
F3600.0	93.361	N163 X-215.79 Y90.72	87.226
N37 G3 X-0.004	N115 X-211.716 Y-	N164 X-215.684	N232 X217.703 Y-
Y93.499 R5.0 F2700.0	93.205	Y90.834	87.232
N38 G1 X209.818	N116 X-212.215 Y-	N165 X-215.177	N233 X217.518 Y-
Y93.498 F3600.0	93.059	Y91.329	87.835
N39 X209.831 Y93.497	N117 X-212.233 Y-	N166 X-215.167	N234 X217.514 Y-
N40 X210.423 Y93.449	93.052	Y91.337	87.847
N41 X211.016 Y93.363	N118 X-212.817 Y-	N167 X-215.062	N235 X217.276 Y-
N42 X211.029 Y93.361	92.823	Y91.425	88.434
N43 X211.716 Y93.205	N119 X-213.418 Y-	N168 X-214.583 Y91.81	N236 X217.273 Y-88.44
N44 X212.215 Y93.059	92.547	N169 X-214.285	N237 X216.984 Y-
N45 X212.233 Y93.052	N120 X-213.436 Y-	Y92.027	89.032
N46 X212.817 Y92.823	92.537	N170 X-213.97 Y92.229	N238 X216.981 Y-
N47 X213.418 Y92.547	N121 X-214.011 Y-	N171 X-213.372	89.038
N48 X213.436 Y92.537	92.204	Y92.572	N239 X216.637 Y-
N49 X214.011 Y92.204	N122 X-214.336 Y-	N172 X-213.359	89.627
N50 X214.336 Y91.992	91.992	Y92.577	N240 X216.63 Y-89.638
N51 X214.619 Y91.782	N123 X-214.619 Y-	N173 X-213.265	N241 X216.383 Y-
N52 X215.213 Y91.296	91.782	Y92.622	89.993
N53 X215.228 Y91.282	N124 X-215.213 Y-	N174 X-212.769	N242 X216.201 Y-
N54 X215.725 Y90.791	91.296	Y92.843	90.231
N55 X215.817 Y90.689	N125 X-215.228 Y-	N175 X-212.172	N243 X215.79 Y-90.722
N56 X216.225 Y90.197	91.282	Y93.074	N244 X215.687 Y-
N57 X216.41 Y89.952	N126 X-215.725 Y-	N176 X-212.152 Y93.08	90.835
N58 X216.663 Y89.582	90.791	N177 X-211.561	N245 X215.176 Y-
N59 X216.669 Y89.571	N127 X-215.817 Y-	Y93.244	91.333
N60 X217.01 Y88.979	90.689	N178 X-210.96 Y93.373	N246 X215.166 Y-
N61 X217.016 Y88.968	N128 X-216.225 Y-	N179 X-210.954	91.342
N62 X217.298 Y88.377	90.197	Y93.374	N247 X215.066 Y-
N63 X217.3 Y88.371	N129 X-216.41 Y-	N180 X-210.361	91.425
N64 X217.525 Y87.792	89.952	Y93.456	N248 X214.581 Y-
N65 X217.605 Y87.556	N130 X-216.663 Y-	N181 X-209.759 Y93.5	91.814
N66 X217.715 Y87.176	89.582	N182 X-209.753	N249 X214.29 Y-92.026
N67 X217.854 Y86.575	N131 X-216.669 Y-	N183 X-2.004 Y93.499	N250 X213.969 Y-
N68 X217.855 Y86.568	89.571	N184 X-0.004	92.232
N69 X217.945 Y85.977	N132 X-216.973 Y-	N185 G3 X4.996	N251 X213.37 Y-92.575
N70 X217.946 Y85.964	89.046	Y98.499 R5.0 F2700.0	N252 X213.352 Y-
N71 X217.991 Y85.372	N133 X-217.005 Y-	N186 G1 X-5.004	92.584
N72 X217.999 Y84.81	88.989	Y98.502 F3600.0	N253 X212.768 Y-
N73 Y-84.826	N134 X-217.011 Y-	N187 Z-4.35	92.847
N74 X217.988 Y-85.434	88.978		

```

N254 X212.169 Y-
93.078
N255 X212.149 Y-
93.084
N256 X211.561 Y-
93.247
N257 X210.96 Y-93.376
N258 X210.954 Y-
93.377
N259 X210.361 Y-
93.459
N260 X209.759 Y-
93.503
N261 X209.753
N262 X-209.818 Y-
93.501
N263 X-209.831 Y-93.5
N264 X-210.423 Y-
93.452
N265 X-211.022 Y-
93.365
N266 X-211.028 Y-
93.364
N267 X-211.618 Y-
93.233
N268 X-212.216 Y-
93.062
N269 X-212.235 Y-
93.055
N270 X-212.818 Y-
92.826
N271 X-213.415 Y-
92.552
N272 X-213.433 Y-
92.542
N273 X-214.012 Y-
92.206
N274 X-214.338 Y-
91.993
N275 X-214.619 Y-
91.785
N276 X-215.213 Y-
91.299
N277 X-215.228 Y-
91.285
N278 X-215.729 Y-
90.791
N279 X-215.816 Y-
90.692
N280 X-216.229 Y-
90.196
N281 X-216.409 Y-
89.956
N282 X-216.666 Y-
89.581
N283 X-216.673 Y-
89.57
N284 X-217.012 Y-
88.978
N285 X-217.015 Y-
88.973
N286 X-217.299 Y-
88.382
N287 X-217.304 Y-
88.37
N288 X-217.53 Y-
87.787
N289 X-217.604 Y-
87.565
N290 X-217.713 Y-
87.196
N291 X-217.856 Y-
86.581
N292 X-217.858 Y-
86.568
N293 X-217.948 Y-
85.977
N294 X-217.949 Y-
85.964
N295 X-217.994 Y-
85.372
N296 X-218.002 Y-
84.81
N297 Y84.826
N298 X-217.991
Y85.434
N299 X-217.942
Y86.028
N300 X-217.94 Y86.041
N301 X-217.845
Y86.636
N302 X-217.844
Y86.642
N303 X-217.705
Y87.226
N304 X-217.703
Y87.232
N305 X-217.518
Y87.835
N306 X-217.514
Y87.847
N307 X-217.276
Y88.434
N308 X-217.273 Y88.44

N309 X-216.984
Y89.032
N310 X-216.981
Y89.038
N311 X-216.637
Y89.627
N312 X-216.63 Y89.638
N313 X-216.383
Y89.993
N314 X-216.201
Y90.231
N315 X-215.79 Y90.722
N316 X-215.687
Y90.835
N317 X-215.176
Y91.333
N318 X-215.166
Y91.342
N319 X-215.066
Y91.425
N320 X-214.581
Y91.814
N321 X-214.29 Y92.026
N322 X-213.969
Y92.232
N323 X-213.37 Y92.575
N324 X-213.352
Y92.584
N325 X-212.768
Y92.847
N326 X-212.169
Y93.078
N327 X-212.149
Y93.084
N328 X-211.561
Y93.247
N329 X-210.96 Y93.376
N330 X-210.954
Y93.377
N331 X-210.361
Y93.459
N332 X-209.759
Y93.503
N333 X-209.753
N334 X-2.004 Y93.502
N335 X-0.004
N336 G3 X4.996
Y98.502 R5.0 F2700.0
N337 G0 Z5.0
N338 G53 G0 Z-110 H0
N339 T03 (USER
DEFINED)
N340 M6
N341 S7000 M3
N342 G54 G0 X216.5
Y50.872
N343 G43 Z5.0 H3D3 M8
N344 Z1.0
N345 G1 Z-0.35
F2600.0
N346 G3 X210.5
Y54.614 R5.0 F1950.0
N347 G1 X210.309
Y54.57 F2600.0
N348 X210.281 Y54.566
N349 X209.854 Y54.514
N350 X209.841 Y54.513
N351 X209.426 Y54.495
N352 X-209.473
Y54.496
N353 X-209.906
Y54.518
N354 X-209.919 Y54.52
N355 X-210.351
Y54.578
N356 X-210.376
Y54.583
N357 X-210.5 Y54.614
N358 G3 X-216.559
Y50.968 R5.0 F1950.0
N359 G1 X-216.458
Y56.194 F2600.0
N360 G3 X-210.5
Y52.386 R5.0 F1950.0
N361 G1 X-210.301
Y52.43 F2600.0
N362 X-210.289
Y52.432
N363 X-209.859 Y52.49
N364 X-209.833
Y52.491
N365 X-209.43 Y52.503
N366 X209.462
N367 X209.897 Y52.486
N368 X209.924 Y52.483
N369 X210.36 Y52.419
N370 X210.372 Y52.416
N371 X210.5 Y52.386
N372 G3 X216.509
Y56.113 R5.0 F1950.0
N373 G0 Z5.0
N374 X216.457 Y14.805
N375 Z1.0
N376 G1 Z-0.35
F2600.0

N377 G3 X210.5
Y18.615 R5.0 F1950.0
N378 G1 X210.3
Y18.571 F2600.0
N379 X210.288 Y18.569
N380 X209.859 Y18.512
N381 X209.833 Y18.51
N382 X209.43 Y18.498
N383 X-209.462
N384 X-209.9 Y18.515
N385 X-209.926
Y18.518
N386 X-210.354
Y18.581
N387 X-210.366
Y18.583
N388 X-210.5 Y18.615
N389 G3 X-216.508
Y14.886 R5.0 F1950.0
N390 G1 X-216.497
Y20.134 F2600.0
N391 G3 X-210.5
Y16.387 R5.0 F1950.0
N392 G1 X-210.306
Y16.432 F2600.0
N393 X-210.281
Y16.436
N394 X-209.853
Y16.487
N395 X-209.833
Y16.488
N396 X-209.43 Y16.499
N397 X209.463
N398 X209.902 Y16.483
N399 X209.922 Y16.481
N400 X210.351 Y16.423
N401 X210.376 Y16.418
N402 X210.5 Y16.387
N403 G3 X216.559
Y20.033 R5.0 F1950.0
N404 G0 Z5.0
N405 X216.5 Y-21.128
N406 Z1.0
N407 G1 Z-0.35
F2600.0
N408 G3 X210.5 Y-
17.386 R5.0 F1950.0
N409 G1 X210.309 Y-
17.431 F2600.0
N410 X210.281 Y-
17.435
N411 X209.854 Y-
17.486
N412 X209.841 Y-
17.487
N413 X209.426 Y-
17.505
N414 X-209.473 Y-
17.504
N415 X-209.906 Y-
17.482
N416 X-209.919 Y-
17.48
N417 X-210.351 Y-
17.423
N418 X-210.376 Y-
17.417
N419 X-210.5 Y-17.386
N420 G3 X-216.559 Y-
21.032 R5.0 F1950.0
N421 G1 X-216.457 Y-
15.805 F2600.0
N422 G3 X-210.5 Y-
19.614 R5.0 F1950.0
N423 G1 X-210.3 Y-
19.57 F2600.0
N424 X-210.288 Y-
19.568
N425 X-209.859 Y-
19.511
N426 X-209.833 Y-
19.509
N427 X-209.43 Y-
19.498
N428 X209.462
N429 X209.9 Y-19.514
N430 X209.926 Y-
19.517
N431 X210.354 Y-19.58
N432 X210.366 Y-
19.582
N433 X210.5 Y-19.614
N434 G3 X216.508 Y-
15.885 R5.0 F1950.0
N435 G0 Z5.0
N436 X216.457 Y-
57.195
N437 Z1.0
N438 G1 Z-0.35
F2600.0
N439 G3 X210.5 Y-
53.386 R5.0 F1950.0
N440 G1 X210.3 Y-
53.43 F2600.0

N441 X210.288 Y-
53.431
N442 X209.859 Y-
53.489
N443 X209.833 Y-53.49
N444 X209.43 Y-53.502
N445 X-209.462
N446 X-209.9 Y-53.485
N447 X-209.926 Y-
53.482
N448 X-210.354 Y-
53.42
N449 X-210.366 Y-
53.417
N450 X-210.5 Y-53.386
N451 G3 X-216.508 Y-
57.114 R5.0 F1950.0
N452 G1 X-216.5 Y-
51.871 F2600.0
N453 G3 X-210.5 Y-
55.613 R5.0 F1950.0
N454 G1 X-210.309 Y-
55.569 F2600.0
N455 X-210.281 Y-
55.565
N456 X-209.854 Y-
55.513
N457 X-209.841 Y-
55.512
N458 X-209.426 Y-
55.494
N459 X209.473 Y-
55.495
N460 X209.906 Y-
55.518
N461 X209.919 Y-
55.519
N462 X210.351 Y-
55.577
N463 X210.376 Y-
55.582
N464 X210.5 Y-55.613
N465 G3 X216.559 Y-
51.967 R5.0 F1950.0
N466 G0 Z5.0
N467 G53 G0 Z-110 H0
N468 T04 (USER
DEFINED)
N469 M6
N470 S7000 M3
N471 G54 G0 X-214.7
Y54.2
N472 G43 Z5.0 H4D4 M8
N473 Z4.6
N474 G1 Z-0.4 F1000.0
N475 G3 X-209.7 Y59.2
R5.0 F750.0
N476 G1 Y84.8 F1000.0
N477 G2 X-209.3 Y85.2
R0.4
N478 G1 X209.3
N479 G2 X209.7 Y84.8
R0.4
N480 G1 Y59.2
N481 G2 X209.3 Y58.8
R0.4
N482 G1 X-209.3
N483 G2 X-209.7 Y59.2
R0.4
N484 G3 X-214.7 Y64.2
R5.0 F750.0
N485 G0 Z5.0
N486 Y18.2
N487 Z4.6
N488 G1 Z-0.4 F1000.0
N489 G3 X-209.7 Y23.2
R5.0 F750.0
N490 G1 Y47.8 F1000.0
N491 G2 X-209.3 Y48.2
R0.4
N492 G1 X209.3
N493 G2 X209.7 Y47.8
R0.4
N494 G1 Y23.2
N495 G2 X209.3 Y22.8
R0.4
N496 G1 X-209.3
N497 G2 X-209.7 Y23.2
R0.4
N498 G3 X-214.7 Y28.2
R5.0 F750.0
N499 G0 Z5.0
N500 Y-17.8
N501 Z4.6
N502 G1 Z-0.4 F1000.0
N503 G3 X-209.7 Y-
12.8 R5.0 F750.0
N504 G1 Y11.8 F1000.0
N505 G2 X-209.3 Y12.2
R0.4
N506 G1 X209.3
N507 G2 X209.7 Y11.8
R0.4
N508 G1 Y-12.8

```


N509 G2 X209.3 Y-13.2
R0.4
N510 G1 X-209.3
N511 G2 X-209.7 Y-
12.8 R0.4
N512 G3 X-214.7 Y-7.8
R5.0 F750.0
N513 G0 Z5.0
N514 Y-41.5
N515 Z4.6
N516 G1 Z-0.4 F1000.0
N517 G3 X-209.7 Y-
36.5 R5.0 F750.0
N518 G1 Y-24.2
F1000.0
N519 G2 X-209.3 Y-
23.8 R0.4
N520 G1 X209.3
N521 G2 X209.7 Y-24.2
R0.4
N522 G1 Y-48.8
N523 G2 X209.3 Y-49.2
R0.4
N524 G1 X-209.3

N525 G2 X-209.7 Y-
48.8 R0.4
N526 G1 Y-36.5
N527 G3 X-214.7 Y-
31.5 R5.0 F750.0
N528 G0 Z5.0
N529 Y-77.5
N530 Z4.6
N531 G1 Z-0.4 F1000.0
N532 G3 X-209.7 Y-
72.5 R5.0 F750.0
N533 G1 Y-60.2
F1000.0
N534 G2 X-209.3 Y-
59.8 R0.4
N535 G1 X209.3
N536 G2 X209.7 Y-60.2
R0.4
N537 G1 Y-84.8
N538 G2 X209.3 Y-85.2
R0.4
N539 G1 X-209.3
N540 G2 X-209.7 Y-
84.8 R0.4

N541 G1 Y-72.5
N542 G3 X-214.7 Y-
67.5 R5.0 F750.0
N543 G0 Z5.0 S8000
N544 X-210.8 Y-57.5
N545 Z3.0
N546 G1 Z-2.0 F800.0
N547 Y-51.5
N548 G0 Z5.0
N549 Y-21.5
N550 Z3.0
N551 G1 Z-2.0
N552 Y-15.5
N553 G0 Z5.0
N554 Y14.5
N555 Z3.0
N556 G1 Z-2.0
N557 Y20.5
N558 G0 Z5.0
N559 Y50.5
N560 Z3.0
N561 G1 Z-2.0
N562 Y56.5
N563 G0 Z5.0

N564 X210.8
N565 Z3.0
N566 G1 Z-2.0
N567 Y50.5
N568 G0 Z5.0
N569 Y20.5
N570 Z3.0
N571 G1 Z-2.0
N572 Y14.5
N573 G0 Z5.0
N574 Y-15.5
N575 Z3.0
N576 G1 Z-2.0
N577 Y-21.5
N578 G0 Z5.0
N579 Y-51.5
N580 Z3.0
N581 G1 Z-2.0
N582 Y-57.5
N583 G0 Z5.0
N584 G53 G0 Z-110 H0
N585 M30

%

%
O0003 (Base Modulo PV
1)
N1 G17 G21 G40 G90
N2 G53 G0 Z-110 H0
N3 T01 (USER DEFINED)
N4 M6
N5 S7000 M3
N6 G55 G0 X220.0
Y85.8 A0.0
N7 G43 Z5.15 H1D1 M8
N8 G1 Z0.15 F4400.0
N9 X215.0
N10 X-215.0
N11 G3 X-226.025
Y74.775 R11.025
N12 G1 Y60.625
N13 G3 X-215.0 Y49.6
R11.025
N14 G1 X215.0
N15 G2 X226.025
Y38.575 R11.025
N16 G1 Y24.425
N17 G2 X215.0 Y13.4
R11.025
N18 G1 X-215.0
N19 G3 X-226.025
Y2.375 R11.025
N20 G1 Y-11.775
N21 G3 X-215.0 Y-22.8
R11.025
N22 G1 X215.0
N23 G2 X226.025 Y-
33.825 R11.025
N24 G1 Y-47.975
N25 G2 X215.0 Y-59.0
R11.025
N26 G1 X-215.0
N27 X-220.0
N28 G0 Z5.0
N29 G53 G0 Z-110 H0
N30 T02 (USER
DEFINED)
N31 M6
N32 S7000 M3
N33 G55 G0 X-71.882
Y-1.49
N34 G43 Z5.0 H2D2 M8
N35 G1 X-49.962 Z-
1.85 F3600.0
N36 X121.583
N37 G3 X123.254 Y-
1.037 R3.236
N38 X123.87 Y-0.427
R1.752
N39 X123.83 Y0.495
R0.869
N40 X123.254 Y1.037
R1.803
N41 X121.583 Y1.49
R3.236
N42 G1 X-48.582
N43 G3 X-50.253
Y1.037 R3.236
N44 X-50.868 Y0.427
R1.752
N45 X-50.966 Y-0.189
R0.905

N46 X-50.574 Y-1.389
R3.99
N47 X-50.471 Y-1.489
R0.214
N48 G2 X-50.236 Y-
1.633 R0.475
N49 X-49.555 Y-2.49
R5.412
N50 X-48.887 Y-3.635
R10.763
N51 G1 X-47.034 Y-
7.343
N52 G3 X-43.561 Y-
9.49 R3.883
N53 G1 X129.583
N54 G3 X131.983 Y-
7.09 R2.4
N55 G1 Y7.09
N56 G3 X129.583 Y9.49
R2.4
N57 G1 X-56.582
N58 G3 X-58.982 Y7.09
R2.4
N59 G1 Y-7.09
N60 G3 X-56.582 Y-
9.49 R2.4
N61 G1 X-48.361
N62 G2 X-44.887 Y-
11.636 R3.883
N63 G1 X-43.034 Y-
15.343
N64 G3 X-39.561 Y-
17.49 R3.883
N65 G1 X137.583
N66 G3 X139.983 Y-
15.09 R2.4
N67 G1 Y15.09
N68 G3 X137.583
Y17.49 R2.4
N69 G1 X-64.582
N70 G3 X-66.982
Y15.09 R2.4
N71 G1 Y-15.09
N72 G3 X-64.582 Y-
17.49 R2.4
N73 G1 X-44.361
N74 G2 X-40.887 Y-
19.636 R3.883
N75 G1 X-39.034 Y-
23.343
N76 G3 X-35.561 Y-
25.49 R3.883
N77 G1 X145.583
N78 G3 X147.983 Y-
23.09 R2.4
N79 G1 Y23.09
N80 G3 X145.583
Y25.49 R2.4
N81 G1 X-72.582
N82 G3 X-74.982
Y23.09 R2.4
N83 G1 Y-23.09
N84 G3 X-72.582 Y-
25.49 R2.4
N85 G1 X-40.361
N86 G2 X-36.887 Y-
27.636 R3.883
N87 G1 X-35.034 Y-
31.343

N88 G3 X-31.561 Y-
33.49 R3.883
N89 G1 X153.583
N90 G3 X155.983 Y-
31.09 R2.4
N91 G1 Y31.09
N92 G3 X153.583
Y33.49 R2.4
N93 G1 X-80.582
N94 G3 X-82.982
Y31.09 R2.4
N95 G1 Y-31.096
N96 G3 X-80.588 Y-
33.49 R2.394
N97 G1 X-36.361
N98 G2 X-32.887 Y-
35.636 R3.883
N99 G1 X-31.034 Y-
39.343
N100 G3 X-27.561 Y-
41.49 R3.883
N101 G1 X161.583
N102 G3 X163.983 Y-
39.09 R2.4
N103 G1 Y39.09
N104 G3 X161.583
Y41.49 R2.4
N105 G1 X-88.582
N106 G3 X-90.998
Y39.148 R2.417
N107 G1 X-91.039
Y37.976
N108 G2 X-90.982
Y35.63 R51.753
N109 G1 X-90.986 Y-
33.291
N110 G2 X-91.035 Y-
35.053 R39.629
N111 X-90.982 Y-37.31
R51.995
N112 G1 Y-39.09
N113 G3 X-88.582 Y-
41.49 R2.4
N114 G1 X-32.361
N115 G2 X-28.887 Y-
43.636 R3.883
N116 G1 X-27.034 Y-
47.343
N117 G3 X-23.561 Y-
49.49 R3.883
N118 G1 X169.583
N119 G3 X171.983 Y-
47.09 R2.4
N120 G1 Y47.09
N121 G3 X169.583
Y49.49 R2.4
N122 G1 X-96.582
N123 G3 X-98.982
Y47.09 R2.4
N124 G1 X-98.987
Y39.652
N125 G2 X-99.05
Y38.01 R44.404
N126 X-98.982 Y35.629
R41.434
N127 G1 X-98.985 Y-
33.167
N128 G2 X-99.05 Y-
35.048 R29.029

N129 X-98.982 Y-37.31
R38.187
N130 G1 Y-47.09
N131 G3 X-96.582 Y-
49.49 R2.4
N132 G1 X-28.361
N133 G2 X-24.887 Y-
51.636 R3.883
N134 G1 X-23.034 Y-
55.343
N135 G3 X-19.561 Y-
57.49 R3.883
N136 G1 X177.583
N137 G3 X179.983 Y-
55.09 R2.4
N138 G1 Y55.09
N139 G3 X177.583
Y57.49 R2.4
N140 G1 X-104.582
N141 G3 X-106.982
Y55.09 R2.4
N142 G1 X-106.985
Y39.816
N143 G2 X-107.069
Y38.055 R24.795
N144 X-106.982
Y35.629 R33.902
N145 G1 Y-32.877
N146 G2 X-107.069 Y-
35.005 R23.048
N147 X-106.982 Y-
37.31 R27.962
N148 G1 Y-55.09
N149 G3 X-104.582 Y-
57.49 R2.4
N150 G1 X-24.361
N151 G2 X-20.887 Y-
59.636 R3.883
N152 G1 X-19.034 Y-
63.343
N153 G3 X-15.561 Y-
65.49 R3.883
N154 G1 X185.583
N155 G3 X187.983 Y-
63.09 R2.4
N156 G1 Y63.09
N157 G3 X185.583
Y65.49 R2.4
N158 G1 X-112.582
N159 G3 X-114.982
Y63.09 R2.4
N160 G1 X-114.98 Y-
63.197
N161 G3 X-112.582 Y-
65.49 R2.4
N162 G1 X-20.361
N163 G2 X-16.264 Y-
67.187 R5.794
N164 G1 X-11.648 Y-
71.803
N165 G3 X-7.551 Y-
73.5 R5.794
N166 G1 X195.916
N167 X195.993 Y-
73.369
N168 Y73.369
N169 X195.916 Y73.5
N170 X-122.943

N171 X-122.992
 Y73.395
 N172 Y40.145
 N173 X-123.01 Y39.564
 N174 X-123.057
 Y38.956
 N175 X-123.156
 Y38.375
 N176 X-123.215
 Y37.903
 N177 X-123.117
 Y37.417
 N178 X-123.03 Y36.802
 N179 X-123.001 Y36.21
 N180 X-122.992
 Y35.629
 N181 Y-32.795
 N182 X-123.001 Y-
 33.368
 N183 X-123.047 Y-
 33.971
 N184 X-123.139 Y-
 34.568
 N185 X-123.229 Y-
 35.049
 N186 X-123.126 Y-
 35.521
 N187 X-123.04 Y-
 36.124
 N188 X-123.002 Y-
 36.721
 N189 X-122.992 Y-
 37.31
 N190 Y-73.395
 N191 X-122.943 Y-73.5
 N192 X-7.551
 N193 Y-73.4
 N194 G0 Z5.0
 N195 G53 G0 Z-110 H0
 N196 T05 (USER
 DEFINED)
 N197 M6
 N198 S7000 M3
 N199 G55 G0 X200.189
 Y76.961
 N200 G43 Z5.0 H5D5 M8
 N201 Z-0.85
 N202 G1 Z-1.85 F800.0
 N203 X200.631 Y77.297
 N204 G3 X200.958
 Y78.225 R0.887
 N205 X200.639 Y78.477
 R0.387
 N206 G1 X200.539
 Y78.485
 N207 X200.088
 N208 G0 Z5.0
 N209 X201.477 Y73.787
 N210 Z-0.85
 N211 G1 Z-1.85
 N212 X202.499 Y73.869
 N213 Y79.7
 N214 X202.493 Y79.898
 N215 X202.48 Y79.967
 N216 X202.463 Y79.984
 N217 X202.402 Y79.995
 N218 X196.504
 N219 X196.39 Y78.977
 N220 G0 Z5.0
 N221 X199.437 Y-
 77.719
 N222 Z-0.85
 N223 G1 Z-1.85
 N224 X199.881 Y-
 78.236
 N225 G3 X200.412 Y-
 78.482 R0.696
 N226 X200.728 Y-
 78.455 R0.859
 N227 X200.981 Y-
 78.136 R0.387
 N228 G1 X200.989 Y-
 78.035
 N229 Y-77.57
 N230 G0 Z5.0
 N231 X196.391 Y-
 78.976
 N232 Z-0.85
 N233 G1 Z-1.85
 N234 X196.504 Y-
 79.995
 N235 X202.402
 N236 X202.463 Y-
 79.984
 N237 X202.48 Y-79.967
 N238 X202.493 Y-
 79.898
 N239 X202.499 Y-79.7
 N240 Y-73.869
 N241 X201.477 Y-
 73.787
 N242 G0 Z5.0
 N243 X-126.455
 Y77.729
 N244 Z-0.85
 N245 G1 Z-1.85
 N246 X-126.821
 Y78.147
 N247 G3 X-127.231
 Y78.449 R0.911
 N248 X-127.649
 Y78.477 R1.166
 N249 X-127.982
 Y78.139 R0.39
 N250 G1 X-127.989
 Y78.042
 N251 Y77.599
 N252 G0 Z5.0
 N253 X-123.416
 Y78.977
 N254 Z-0.85
 N255 G1 Z-1.85
 N256 X-123.533
 Y79.995
 N257 X-129.327
 N258 X-129.477
 Y79.986
 N259 X-129.493
 Y79.898
 N260 X-129.499 Y79.7
 N261 Y73.871
 N262 X-128.477
 Y73.793
 N263 G0 Z5.0
 N264 X-127.221 Y-
 76.952
 N265 Z-0.85
 N266 G1 Z-1.85
 N267 X-127.645 Y-
 77.309
 N268 G3 X-127.953 Y-
 77.715 R0.882
 N269 X-127.982 Y-
 78.139 R1.188
 N270 X-127.649 Y-
 78.477 R0.39
 N271 G1 X-127.553 Y-
 78.485
 N272 X-127.117
 N273 G0 Z5.0
 N274 X-128.477 Y-
 73.793
 N275 Z-0.85
 N276 G1 Z-1.85
 N277 X-129.5 Y-73.87
 N278 X-129.499 Y-79.7
 N279 X-129.493 Y-
 79.898
 N280 X-129.477 Y-
 79.986
 N281 X-129.327 Y-
 79.995
 N282 X-123.532
 N283 X-123.416 Y-
 78.977
 N284 G0 Z5.0
 N285 X-124.441 Y-
 23.189
 N286 Z3.15
 N287 G40 G1 Z-1.0
 N288 G3 X-129.62 Y-
 28.003 R5.0 F615.4
 N289 G1 X-129.803 Y-
 33.0 F800.0
 N290 Y-33.015
 N291 X-129.824 Y-
 33.296
 N292 X-129.828 Y-
 33.317
 N293 X-129.893 Y-
 33.55
 N294 X-129.898 Y-
 33.563
 N295 X-130.024 Y-
 33.846
 N296 X-130.035 Y-
 33.863
 N297 X-130.172 Y-
 34.063
 N298 X-130.177 Y-
 34.069
 N299 X-130.237 Y-
 34.136
 N300 X-130.447 Y-
 34.335
 N301 X-130.457 Y-
 34.343
 N302 X-130.544 Y-
 34.403
 N303 X-130.731 Y-
 34.517
 N304 X-130.746 Y-
 34.524
 N305 X-131.005 Y-
 34.627
 N306 X-131.017 Y-
 34.63
 N307 X-131.195 Y-
 34.673
 N308 X-131.296 Y-
 34.687
 N309 X-131.549 Y-
 34.701
 N310 X-209.5
 N311 X-214.5
 N312 G3 X-219.5 Y-
 39.701 R5.0 F615.4
 N313 G1 Y-30.303
 F800.0
 N314 G3 X-214.5 Y-
 35.303 R5.0 F615.4
 N315 G1 X-209.5
 F800.0
 N316 X-131.533
 N317 X-131.263 Y-
 35.315
 N318 X-131.242 Y-
 35.318
 N319 X-131.238 Y-
 35.319
 N320 X-130.973 Y-
 35.388
 N321 X-130.966 Y-
 35.391
 N322 X-130.707 Y-
 35.498
 N323 X-130.647 Y-
 35.532
 N324 X-130.644 Y-
 35.534
 N325 X-130.43 Y-
 35.676
 N326 X-130.418 Y-
 35.687
 N327 X-130.282 Y-
 35.816
 N328 X-130.155 Y-
 35.963
 N329 X-130.152 Y-
 35.966
 N330 X-130.06 Y-
 36.098
 N331 X-130.057 Y-
 36.104
 N332 X-129.922 Y-
 36.362
 N333 X-129.918 Y-
 36.374
 N334 X-129.882 Y-
 36.478
 N335 X-129.835 Y-
 36.651
 N336 X-129.833 Y-
 36.663
 N337 X-129.803 Y-
 36.928
 N338 Y-37.0
 N339 X-129.8 Y-42.0
 N340 G3 X-124.797 Y-
 46.997 R5.0 F615.4
 N341 G0 Z5.0
 N342 X-124.374
 Y49.772
 N343 Z3.15
 N344 G1 Z-1.0 F800.0
 N345 G3 X-129.588
 Y44.995 R5.0 F615.4
 N346 G1 X-129.806
 Y40.0 F800.0
 N347 X-129.814
 Y39.819
 N348 X-129.815
 Y39.811
 N349 X-129.858 Y39.55
 N350 X-129.863
 Y39.534
 N351 X-129.892 Y39.45
 N352 X-129.969
 Y39.263
 N353 X-129.975
 Y39.252
 N354 X-130.127
 Y38.999
 N355 X-130.179
 Y38.929
 N356 X-130.184
 Y38.923
 N357 X-130.381
 Y38.721
 N358 X-130.449
 Y38.664
 N359 X-130.465
 Y38.652
 N360 X-130.723
 Y38.486
 N361 X-130.734 Y38.48
 N362 X-130.818
 Y38.442
 N363 X-131.011
 Y38.371
 N364 X-131.023
 Y38.368
 N365 X-131.287
 Y38.313
 N366 X-131.3 Y38.312
 N367 X-131.549
 Y38.298
 N368 X-209.5
 N369 X-214.5
 N370 G3 X-219.5
 Y33.298 R5.0 F615.4
 N371 G1 Y42.697
 F800.0
 N372 G3 X-214.5
 Y37.697 R5.0 F615.4
 N373 G1 X-209.5
 Y37.696 F800.0
 N374 X-131.534
 N375 X-131.264
 Y37.686
 N376 X-131.243
 Y37.682
 N377 X-130.981
 Y37.622
 N378 X-130.965
 Y37.616
 N379 X-130.904 Y37.59
 N380 X-130.702
 Y37.498
 N381 X-130.691
 Y37.491
 N382 X-130.435
 Y37.326
 N383 X-130.418
 Y37.312
 N384 X-130.412
 Y37.306
 N385 X-130.154
 Y37.035
 N386 X-130.142
 Y37.018
 N387 X-130.14 Y37.015
 N388 X-129.98 Y36.755
 N389 X-129.974
 Y36.743
 N390 X-129.882
 Y36.522
 N391 X-129.88 Y36.515
 N392 X-129.867
 Y36.468
 N393 X-129.812
 Y36.199
 N394 X-129.81 Y36.181
 N395 X-129.804 Y36.0
 N396 X-129.643
 Y31.003
 N397 G3 X-124.485
 Y26.166 R5.0 F615.4
 N398 G0 Z5.0
 N399 X-219.5 Y42.699
 N400 Z1.0
 N401 G1 Z-2.0 F800.0
 N402 G3 X-214.5 Y37.7
 R5.0 F615.4
 N403 G1 X-209.5
 F800.0
 N404 X-121.546
 Y37.702
 N405 X-121.358
 Y37.749
 N406 X-121.298
 Y37.791
 N407 X-121.218
 Y37.934
 N408 X-121.226
 Y38.073
 N409 X-121.35 Y38.248
 N410 X-121.543
 Y38.299
 N411 X-209.5 Y38.295
 N412 X-214.5
 N413 G3 X-219.5
 Y33.295 R5.0 F615.4
 N414 G0 Z5.0
 N415 Y-30.3
 N416 Z1.0
 N417 G1 Z-2.0 F800.0
 N418 G3 X-214.5 Y-
 35.3 R5.0 F615.4
 N419 G1 X-209.5
 F800.0
 N420 X-121.542 Y-
 35.297
 N421 X-121.388 Y-
 35.265
 N422 X-121.227 Y-
 35.096
 N423 X-121.211 Y-
 34.972
 N424 X-121.221 Y-
 34.921
 N425 X-121.257 Y-
 34.842
 N426 X-121.369 Y-
 34.744
 N427 X-121.543 Y-34.7
 N428 X-209.5 Y-34.705
 N429 X-214.5

N430 G3 X-219.5 Y-
 39.705 R5.0 F615.4
 N431 G1 Y-30.299
 F800.0
 N432 Z-2.35
 N433 G3 X-214.5 Y-
 35.299 R5.0 F615.4
 N434 G1 X-209.5
 F800.0
 N435 X-121.766
 N436 X-121.54 Y-
 35.292
 N437 X-121.392 Y-
 35.264
 N438 X-121.228 Y-
 35.091
 N439 X-121.215 Y-
 34.97
 N440 X-121.222 Y-
 34.924
 N441 X-121.261 Y-
 34.843
 N442 X-121.369 Y-
 34.749
 N443 X-121.543 Y-
 34.706
 N444 X-209.5
 N445 X-214.5
 N446 G3 X-219.5 Y-
 39.706 R5.0 F615.4
 N447 G0 Z5.0
 N448 Y42.701
 N449 Z1.0
 N450 G1 Z-2.35 F800.0
 N451 G3 X-214.5
 Y37.701 R5.0 F615.4
 N452 G1 X-209.5
 F800.0
 N453 X-121.766
 N454 X-121.546
 Y37.708
 N455 X-121.357
 Y37.755
 N456 X-121.302
 Y37.792
 N457 X-121.223
 Y37.932
 N458 X-121.227
 Y38.066
 N459 X-121.352
 Y38.245
 N460 X-121.543
 Y38.294

N461 X-209.5
 N462 X-214.5
 N463 G3 X-219.5
 Y33.294 R5.0 F615.4
 N464 G0 Z5.0
 N465 X-124.218 Y-
 23.313
 N466 Z3.15
 N467 G1 Z-1.85 F800.0
 N468 G3 X-129.504 Y-
 28.009 R5.0 F615.4
 N469 G1 X-129.799 Y-
 33.0 F800.0
 N470 Y-33.008
 N471 X-129.815 Y-
 33.265
 N472 X-129.883 Y-
 33.527
 N473 X-130.007 Y-
 33.822
 N474 X-130.155 Y-
 34.045
 N475 X-130.426 Y-
 34.321
 N476 X-130.702 Y-
 34.506
 N477 X-130.825 Y-
 34.558
 N478 G0 Z5.0
 N479 X-130.827
 Y37.557
 N480 Z3.15
 N481 G1 Z-1.85
 N482 X-130.729
 Y37.516
 N483 X-130.459
 Y37.349
 N484 X-130.175
 Y37.065
 N485 X-129.99 Y36.782
 N486 X-129.892
 Y36.555
 N487 X-129.812
 Y36.229
 N488 X-129.808
 Y36.209
 N489 Y36.0
 N490 Y31.0
 N491 G3 X-124.807
 Y26.001 R5.0 F615.4
 N492 G0 Z5.0
 N493 X-130.83 Y-
 35.443

N494 Z3.15
 N495 G1 Z-1.85 F800.0
 N496 X-130.734 Y-
 35.482
 N497 X-130.457 Y-
 35.651
 N498 X-130.298 Y-
 35.796
 N499 X-130.17 Y-35.94
 N500 X-130.075 Y-
 36.068
 N501 X-129.93 Y-
 36.337
 N502 X-129.838 Y-
 36.618
 N503 X-129.801 Y-
 36.895
 N504 Y-37.0
 N505 X-129.8 Y-42.0
 N506 G3 X-124.799 Y-
 46.999 R5.0 F615.4
 N507 G0 Z5.0
 N508 G53 G0 Z-110 H0
 N509 T04 (USER
 DEFINED)
 N510 M6
 N511 S7000 M3
 N512 G55 G0 X-215.3
 Y-66.0
 N513 G43 Z5.0 H4D4 M8
 N514 Z4.0
 N515 G1 Z-1.0 F1000.0
 N516 G3 X-210.3 Y-
 61.0 R5.0 F750.0
 N517 G1 Y-37.2
 F1000.0
 N518 G2 X-209.3 Y-
 36.2 R1.0
 N519 G1 X-131.7
 N520 G2 X-130.7 Y-
 37.2 R1.0
 N521 G1 Y-80.0
 N522 G3 X-129.5 Y-
 81.2 R1.2 F750.0
 N523 G1 X202.5
 F1000.0
 N524 G3 X203.7 Y-80.0
 R1.2 F750.0
 N525 G1 Y80.0 F1000.0
 N526 G3 X202.5 Y81.2
 R1.2 F750.0
 N527 G1 X-129.5
 F1000.0

N528 G3 X-130.7 Y80.0
 R1.2 F750.0
 N529 G1 Y40.2 F1000.0
 N530 G2 X-131.7 Y39.2
 R1.0
 N531 G1 X-209.3
 N532 G2 X-210.3 Y40.2
 R1.0
 N533 G1 Y84.8
 N534 G2 X-209.3 Y85.8
 R1.0
 N535 G1 X209.3
 N536 G2 X210.3 Y84.8
 R1.0
 N537 G1 Y-84.8
 N538 G2 X209.3 Y-85.8
 R1.0
 N539 G1 X-209.3
 N540 G2 X-210.3 Y-
 84.8 R1.0
 N541 G1 Y-61.0
 N542 G3 X-215.3 Y-
 56.0 R5.0 F750.0
 N543 G0 Z5.0
 N544 Y-3.5
 N545 Z4.0
 N546 G1 Z-1.0 F1000.0
 N547 G3 X-210.3 Y1.5
 R5.0 F750.0
 N548 G1 Y35.8 F1000.0
 N549 G2 X-209.3 Y36.8
 R1.0
 N550 G1 X-131.7
 N551 G2 X-130.7 Y35.8
 R1.0
 N552 G1 Y-32.8
 N553 G2 X-131.7 Y-
 33.8 R1.0
 N554 G1 X-209.3
 N555 G2 X-210.3 Y-
 32.8 R1.0
 N556 G1 Y1.5
 N557 G3 X-215.3 Y6.5
 R5.0 F750.0
 N558 G0 Z5.0
 N559 G53 G0 Z-110 H0
 N560 M30

%

Apêndice D

Estimativas de custo para implantação de um sistema baseado nas telhas fotovoltaicas

A partir da conclusão dos testes com os protótipos, confirmando sua viabilidade, a seguir é apresentados um quadro com todos os componentes da telha fotovoltaica e seu custo estimado sem considerar impostos e margem de lucro.

Quadro 10 – Estimativa de custo da telha fotovoltaica

	Componente	Descrição	Dimensão	Quantidade	Custo unitário	Custo total
1	Células fotovoltaicas	Silício policristalino	6" x 6	2	R\$ 4,00	R\$ 8,00
2	Revestimento translucido para a cobertura do módulo fotovoltaico	Placa de policarbonato	170mm x 417mm x 2mm	1	R\$ 60,00 / M ²	R\$ 4,25
3	Base metálica do módulo fotovoltaico	Alumínio	170mm x 417mm x 4mm	1 (770g)	R\$ 14,30 / Kg	R\$ 11,00
4	Usinagem alumínio	Serviço executado em CNC	-	Aprox. 5min./peça	R\$ 115,00 / hora máquina	R\$ 9,60
5	Conectores elétricos	Modelo Mc4	-	2	R\$ 1,20	R\$ 2,40
6	Cabos elétricos	Siliconado Ø 3mm	40 cm	-	R\$ 4,00/m	R\$ 1,60
7	Cola/vedação	Silicone alta resist./temp.	-	6g	R\$ 78,00/Kg	R\$ 0,47
8	Base em RCD	Telha com espaço para aplicação do módulo fotovoltaico	330mm x 417mm x 30mm	1	R\$ 1,80	R\$ 1,80
TOTAL						R\$ 39,12

Fonte: O autor (2013)

A partir da estimativa de custo de cada telha fotovoltaica, pode-se estimar também o valor de um projeto de instalação por Watt produzido, considerando, além das telhas fotovoltaicas, a instalação, manutenção e conversão efetuada por inversores. Para tanto é necessário aplicar o calculo do montante de energia convertida, considerando testes realizados sob padrões STC (standard test conditions), que estima a potência gerada em Wp (Watt-pico) para 1000 W/m² de radiação solar a 25°C de temperatura (FREITAS et al., 2012). Tais estimativas podem ser efetuadas a partir do simulador “PVWatts: A Performance Calculator for Grid-Connected PV Systems” que encontra-se disponível no sítio do *National Renewable Energy Laboratory*, pertencente ao Departamento de Energia dos Estados Unidos. (NREL, 2014).

Com os referenciais para conversão apresentados no sítio do simulador, estima-se que cada telha é capaz de produzir 5,49Wp em STC. Ao considerar o custo estimado para cada telha fotovoltaica, tem-se o custo de R\$7,13/Wp. Os levantamentos em comércios nacionais e internacionais, considerando taxas e impostos de importação, apresentam um valor médio de R\$ 1,70/W. Deste modo, a instalação de um sistema baseado nas telhas fotovoltaicas do presente estudo, atinge um valor de custo de aproximadamente R\$ 8,83/W.

Ao simular a instalação das telhas fotovoltaicas em uma residência, em Curitiba, utilizando um inversor para 1,3KW, suficiente para gerar em torno de 120KWh ao mês, tomando por base a tarifa de R\$ 0,3958/KWh, aplicado pela Companhia Paranaense de Energia Elétrica em Curitiba, no mês de fevereiro de 2014 (ANEEL, 2014), já com impostos e custos de distribuição e transmissão, utilizando o simulador PVWatts, tem-se os valores apresentados na tabela a seguir.

Estimativa da potência gerada a partir do simulador PVWatts

MÊS	IRRADIAÇÃO SOLAR (KWh/m2/dia)	ENERGIA GERADA (KWh)	ECONOMIA GERADA (R\$)
Janeiro	4.94	136	53,83
Fevereiro	4.84	121	47,89
Março	4.68	131	51,85
Abril	4.46	122	48,29
Maio	3.97	114	45,12
Junho	3.98	113	44,73
Julho	3.83	110	43,54
Agosto	4.60	132	52,25
Setembro	4.12	112	44,33
Outubro	4.51	125	49,47
Novembro	4.98	133	52,64
Dezembro	4.72	131	51,85
Total Anual		1481	R\$ 586,18
Média	4.47	123	R\$ 48,85

Fonte: O autor (2013)

O simulador leva em consideração os parâmetros de potência de pico instalada, fator geral de eficiência de conversão CC-CA (corrente contínua - corrente alternada) e a forma de instalação da fonte fotovoltaica, com objetivo de estimar a energia

convertida. (FREITAS et al., 2012).

Para estimar a perda de energia relativa aos processos de conversão de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA), foram usados os fatores de eficiência padronizados e relacionados pelo simulador PVWatts. Os fatores de sombreamento (*shading*), rastreamento do sol (*sun tracking*) e idade do painel (*age*) foram deixados como padrão (valor 1,00), tomando como parâmetro a inexistência de sombreamento e a instalação da fonte fotovoltaica de forma fixa, ou seja, virado para o lado norte com um ângulo (em relação a posição horizontal) igual à latitude da região analisada, ou seja 25,5° Norte para Curitiba. (FREITAS et al., 2012; NREL, 2014).

Considerando os valores apresentados na simulação, são necessárias 236 telhas fotovoltaicas e um inversor de 1300 Watts. O valor de custo estimado por Watt produzido, considerando somente a telha e o inversor, é de R\$8,83/W. Para um projeto de instalação em uma edificação foi considerado um acréscimo de 20% sobre o valor de custo, a considerar o equivalente a R\$10,60/W. Deste modo, uma instalação capaz de gerar uma média 123 KWh/mês teria um custo total de R\$13.780,00.

Apêndice E

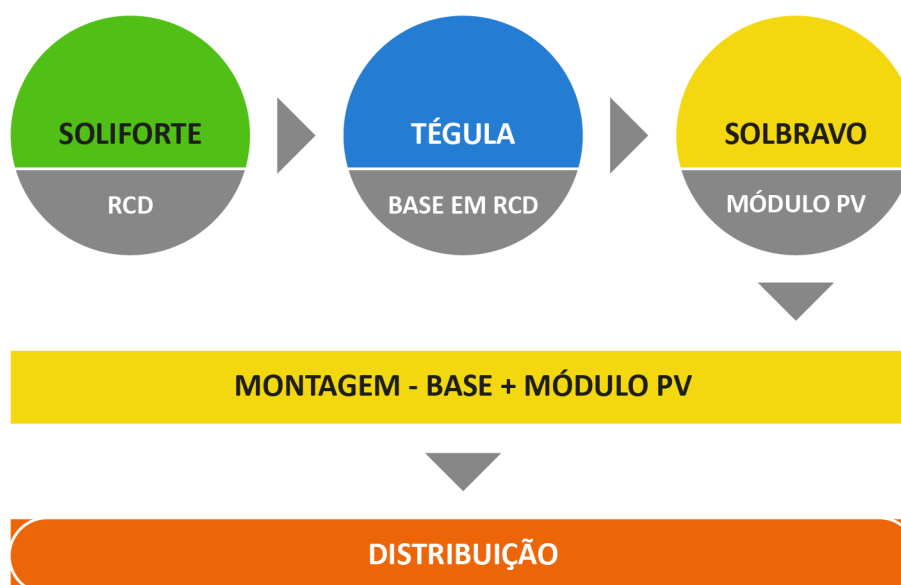
Possíveis desdobramentos da colaboração

Tal qual foi descrito no capítulo 3, cada um dos atores participantes possuiu um papel para o desenvolvimento do projeto e o autor figurou como centralizador e organizador das atividades para a obtenção dos resultados em conjunto com uma equipe do Senai.

A partir dos resultados obtidos, o produto apresenta-se viável para produção, contudo, isto demandará o engajamento de todos os atores, determinando o fluxo produtivo e os papel a ser desempenhado por cada um dos envolvidos.

Com as informações que foram levantadas, diversos cenários podem ser construídos, definindo possibilidades para o processo produtivo e até mesmo outros produtos derivados, conforme os cenários projetados a seguir:

Cenário 1:



Fonte: O autor (2014)

A Soliforte fornece o RCD para a Tégula que produz a base da telha e envia à Solbravo, que por sua vez, constrói o módulo fotovoltaico, faz a sua integração com a base da telha e envia aos canais de distribuição.

- Fatores positivos

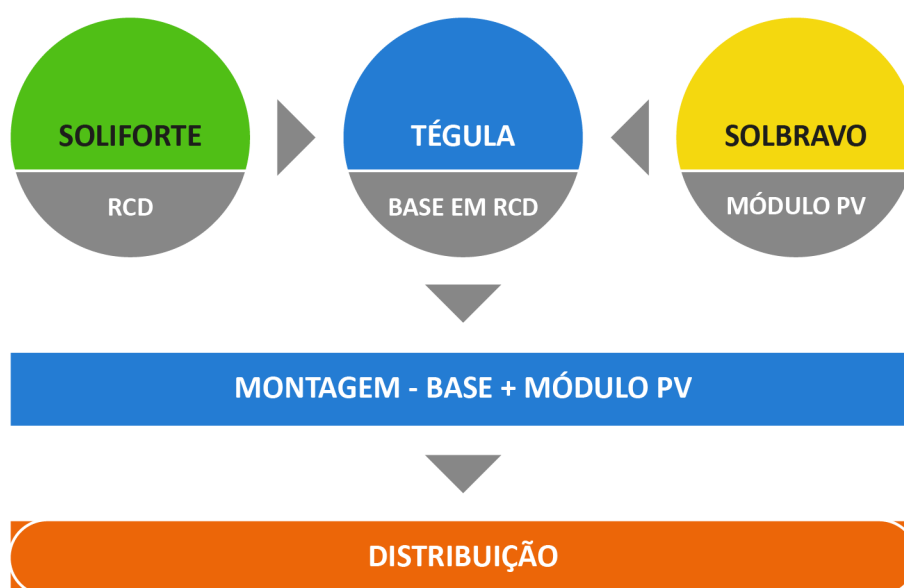
- a) Cada um dos atores atuará em sua área específica de conhecimento;

- b) A Tégula, que já produz seus modelos de telhas plana, poderá utilizar seu maquinário, trocando as ferramentas que moldam a superfície da telha fotovoltaica e utilizar os mesmos moldes para da base;
- c) A Solbravo já possui experiência em montagens de módulos fotovoltaicos.

- Fatores negativos

- a) A distância da usina da Soliforte, no município de Campo Largo, à Tégula, em sua unidade de Içara – SC, é de aproximadamente 490 km;
- b) O mesmo vale para o transporte das bases de RCD pela Tégula para a Solbravo em Curitiba.

Cenário 2:



Fonte: O autor (2014)

A Soliforte fornece o RCD para a Tégula que produz a base da telha e também realiza a montagem da base com o módulo fotovoltaico, que após ser produzido é enviado pela Solbravo. Após a montagem, a Tégula envia a telha fotovoltaica aos canais de distribuição.

- Fatores positivos

- a) A Tégula, que já produz seus modelos de telhas plana, poderá utilizar seu

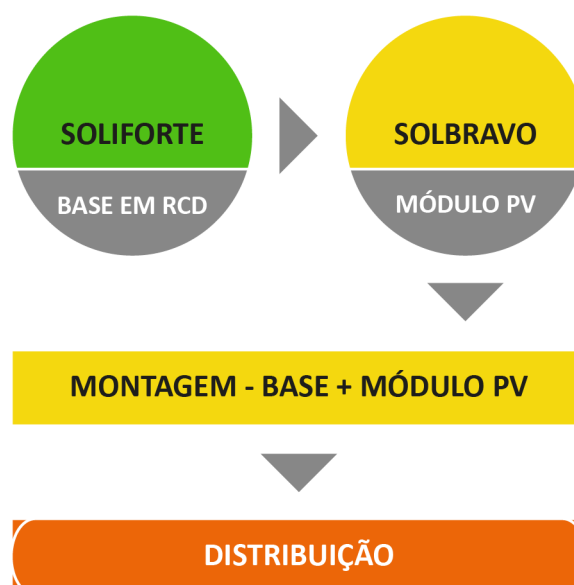
maquinário, trocando as ferramentas que moldam a superfície da telha fotovoltaica e utilizar os mesmos moldes para da base;

- b) Após a cura, o módulo fotovoltaico já poderá ser integrado à base e o conjunto já pode ser preparado para a distribuição.
- c) Ao contrário do exposto no cenário 1, o processo para se enviar os módulos da Solbravo para a Tégula realizar a montagem é mais vantajoso quando comparado ao envio das telhas até a SolBravo. Reduz-se o custo de transporte e o tempo de carga e descarga.

- Fatores negativos

- a) A distância da usina da Soliforte, no município de Campo Largo, à Tégula, em sua unidade de Içara – SC, é de aproximadamente 490 km;
- b) Funcionários da Tégula precisariam ser capacitados e direcionados para a montagem das telhas fotovoltaicas.

Cenário 3:



Fonte: O autor (2014)

A Soliforte pode uma parceria, sendo capacitada e habilitada pela Tégula para produzir a base da telha em RCD e enviar à Solbravo, que por sua vez, constrói o módulo fotovoltaico, faz a sua integração com a base da telha e envia aos canais de

distribuição.

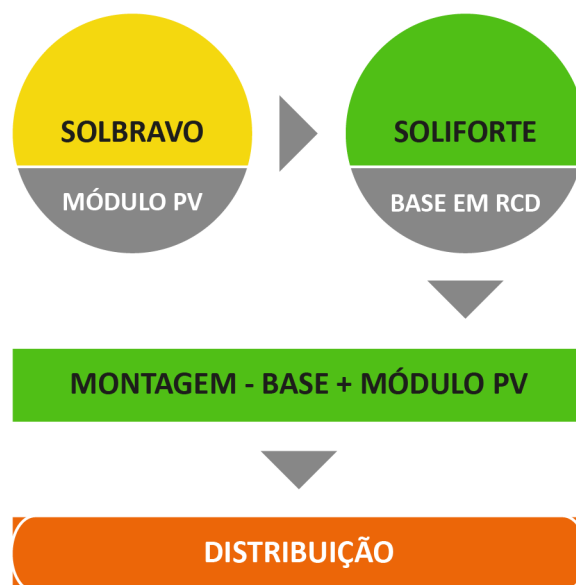
- Fatores positivos

- a) Devido à proximidade entre Soliforte e Solbravo, se reduz o custo e o tempo de produção;
- b) A Soliforte, que já produz blocos de concreto com RCD, pode implementar sua área de atuação no mercado da construção civil sustentável e até mesmo fornecer outros produtos, baseados em RCD, em parceria com a Tégula;
- c) A Solbravo já possui experiência em montagens de módulos fotovoltaicos.

- Fatores negativos

- a) O investimento necessário para montar o parque fabril para a produção das telhas na Soliforte é elevado.

Cenário 4:



Fonte: O autor (2014)

A Soliforte, capacitada e habilitada pela Tégula produz a base da telha em RCD e faz a integração com o módulo fotovoltaico enviado pela Solbravo. Após a montagem, a Tégula envia a telha fotovoltaica aos canais de distribuição.

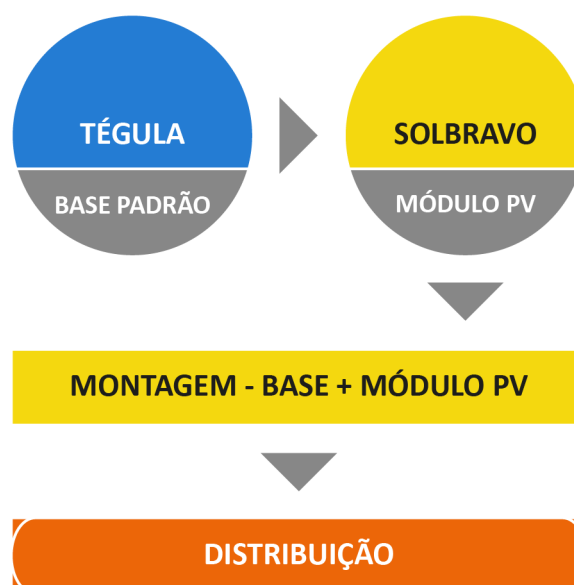
- Fatores positivos

- a) Devido à proximidade entre Soliforte e Solbravo, se reduz o custo e o tempo de produção;
- b) A Soliforte, que já produz blocos de concreto com RCD, pode implementar sua área de atuação no mercado da construção civil sustentável e até mesmo fornecer outros produtos, baseados em RCD, para a Tégula;
- c) A Solbravo já possui experiência em montagens de módulos fotovoltaicos.

- Fatores negativos

- a) O investimento necessário para montar o parque fabril para a produção das telhas na Soliforte é elevado.

Cenário 5:



Fonte: O autor (2014)

A Tégula produz a base da telha fotovoltaica utilizando o agregado convencional, sem RCD, e envia à Solbravo, que por sua vez, constrói o módulo fotovoltaico, faz a sua integração com a base da telha e envia aos canais de distribuição.

Este cenário também pode ser aplicado como complementar ao cenário 1, caso ocorra algum problema com o fornecimento de RCD pela Soliforte ou mesmo com a

estabilidade do RCD fornecido.

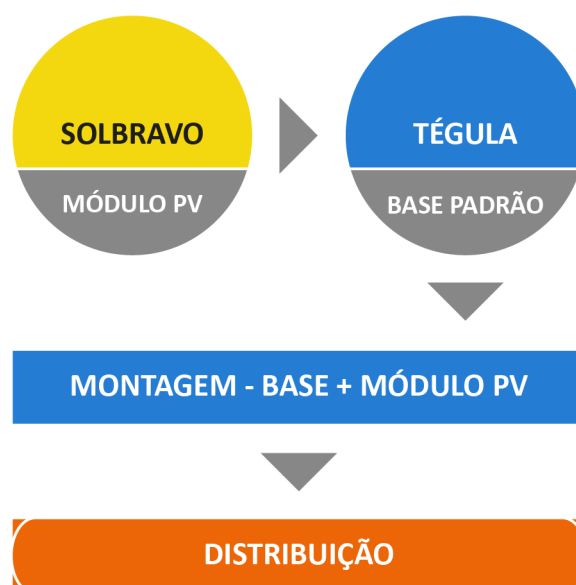
- Fatores positivos

- a) Garantia de estabilidade do produto, pois pode utilizar o mesmo traço aplicado em seus produtos;
- b) A Tégula, que já produz seus modelos de telhas plana, poderá utilizar seu maquinário, trocando as ferramentas que moldam a superfície da telha fotovoltaica e utilizar os mesmos moldes para da base;
- c) A Solbravo já possui experiência em montagens de módulos fotovoltaicos.

- Fatores negativos

- a) Como opção única de produção, perde-se a oportunidade de se comercializar um produto reaproveitando resíduos;
- b) A distância da fábrica da Tégula, em sua unidade de Içara – SC, é de aproximadamente 490 km até a Solbravo.

Cenário 6:



Fonte: O autor (2014)

A Tégula produz a base da telha fotovoltaica utilizando o agregado convencional, sem

RCD, e também realiza a montagem da base com o módulo fotovoltaico, que após ser produzido é enviado pela Solbravo. Após a montagem, a Tégula envia a telha fotovoltaica aos canais de distribuição.

Este cenário também pode ser aplicado como complementar ao cenário 2, caso ocorra algum problema com o fornecimento de RCD pela Soliforte ou mesmo com a estabilidade do RCD fornecido.

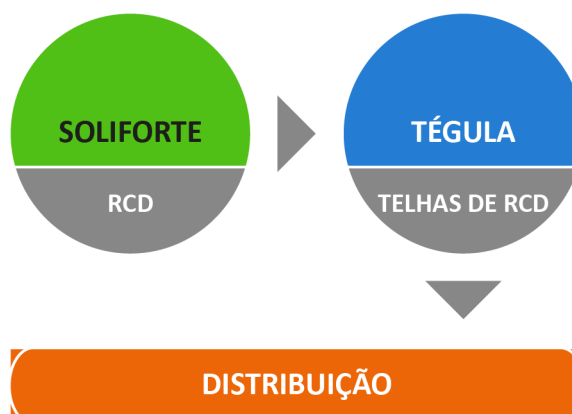
- Fatores positivos

- a) Garantia de estabilidade do produto, pois pode utilizar o mesmo traço aplicado em seus produtos;
- b) A Tégula, que já produz seus modelos de telhas plana, poderá utilizar seu maquinário, trocando as ferramentas que moldam a superfície da telha fotovoltaica e utilizar os mesmos moldes para da base;
- c) Após a cura, o módulo fotovoltaico já poderá ser integrado à base e o conjunto já pode ser preparado para a distribuição;
- d) Ao contrário do exposto no cenário 5, o processo para se enviar os módulos da Solbravo para a Tégula realizar a montagem é mais vantajoso quando comparado ao envio das telhas até a SolBravo. Reduz-se o custo de transporte e o tempo de carga e descarga.

- Fatores negativos

- a) Como opção única de produção, perde-se a oportunidade de se comercializar um produto reaproveitando resíduos;
- b) Funcionários da Tégula precisariam ser capacitados e direcionados para a montagem das telhas fotovoltaicas.

Cenário 7:



Fonte: O autor (2014)

Este cenário prevê a produção de telhas convencionais pela Tégula, a partir da utilização de resíduos de construção e demolição fornecido pela Soliforte, sem a integração do módulo fotovoltaico.

- Fatores positivos

- a) A Tégula, precisará apenas substituir os traços utilizados em seus agregado pela formulação que inclui o RCD;
- b) O RCD pode ser utilizado em todos os modelos de telhas de concreto produzidos pela Tégula em suas diversas unidades;
- c) O apelo por utilizar material proveniente de reaproveitamento pode ser positivo para a imagem da empresa, além disso estará efetivamente contribuindo com a gestão sustentável dos resíduos produzidos pela construção civil.

- Fatores negativos

- a) A distância da usina da Soliforte, no município de Campo Largo às diversas unidades da Tégula é relativamente elevada, estando a mais próxima, no município de Londrina, a 370 km da usina da Soliforte.

Cenário 8:



Fonte: O autor (2014)

A Soliforte, pode investir em seu parque fabril e passar a comercializar telhas convencionais de concreto a partir de RCD, podendo até mesmo ser uma parceira, capacitada e habilitada pela Tégula.

- Fatores positivos

- a) A Soliforte, que já produz blocos de concreto com RCD, pode implementar sua área de atuação no mercado da construção civil sustentável e até mesmo fornecer outros produtos, baseados em RCD em parceria com a Tégula;

- Fatores negativos

- a) O investimento necessário para montar o parque fabril para a produção das telhas na Soliforte é elevado.

Apêndice F

Custos do projeto

Item	Insumo / Produto / Equipamento	Quantidade	Fornecedor	Custo (R\$)
1	Cimento Votoran CP V-ARI	50 Kg	Impermix	28,00
2	Cimento Branco Votoran Estrutural	25 Kg	Impermix	28,00
3	Areia Silicosa	40 Kg	Impermix	17,00
4	Aditivo Acelerador Sika 2	1 L	Impermix	15,00
5	Aditivo Impermeabilizante Sika 1	1 L	Impermix	4,00
6	Aditivo Plastificante Vedalit	1 L	Diprotec	15,00
7	RCD – Base concreto	60 kg	Soliforte	(doação)
8	Materiais com base em concreto para estudos de viabilidade	4 unid.	Palácio das telhas	10,00
9	Materiais com base em concreto para estudos de viabilidade	2 unid.	Shopping das telhas	(doação)
10	Telhas modelo Plana	20 unid.	Tégula	(doação)
11	Sacos para resíduos	20 unid.	Cassol	22,00
12	Chapa em alumínio 5mm	4,9 Kg	Barranco	80,36
13	Chapas em policarbonato e acrílico para testes	-	Brasflex	62,00
14	Chapa de PVC 0,70	1 unid.	Actos	11,00
15	Chapa de PVC 0,20	1 unid.	Actos	3,00
16	Cabo elétrico silicone	3m	Reymaster	7,15
17	Parafusos em aço inox – 004x25	8 unid.	Pioneira	1,92
18	Arruelas em aço inox – 3/16	8 unid.	Pioneira	0,88
19	Arruelas em aço inox – 005	8 unid.	Pioneira	0,48
20	Porcas em aço inox – 3/16	16 unid.	Pioneira	2,40
21	Silicone	50 g	Pioneira	3,90
22	Organizador 23x14x4	1 unid.	Pioneira	5,90
23	Células Silício Policristalino 3"x6"	30 unid.	Solbravo	(doação)
24	Flux Pen	1 unid.	Solbravo	(doação)
25	Tab wire	10 m.	C.P. Hood Energia Solar	33,00
26	Bus wire	5 m.	C.P. Hood Energia Solar	24,00
27	EVA solar	1 M2	Solbravo	(doação)
28	Kit moldagem em fibra de vidro	1 unid.	Casa do Silicone	27,00
29	Desmoldante	5 L	Solbravo	(doação)
30	Radiômetro	1 unid.	Shopping 24 de maio	170,00
Total				R\$571,99

Anexos

Anexo A

Usinas de reciclagem de RCD no Brasil

Usinas de reciclagem de RCD no Brasil - Jornal Meio Ambiente da Createc

Cidade	Propriedade	Instalação	Cap. (t/n)	Situação
São Paulo/SP	Prefeitura	1991	100	Desativada
Londrina/PR	Prefeitura	1993	20	Desativada
B. Horizonte (Estoril)	Prefeitura	1994	30	Operando
B. Horizonte(Pampulha)	Prefeitura	1996	20	Operando
Ribeirão Preto/SP	Prefeitura	1996	30	Operando
Piracicaba/SP	Autarquia/Emdhap	1996	15	Operando
S.José dos Campos/SP	Prefeitura	1997	30	Desativada
Muriaé/MG	Prefeitura	1997	8	Desativada
São Paulo/SP	ATT Base	1998	15	Desativada
Macaé/RJ	Prefeitura	1998	8	Desativada
São Sebastião/DF	Adm. Regional	1999	5	Desativada
Socorro/SP	Irmãos Preto	2000	3	Operando
Guarulhos/SP	Prefeitura/Proguaru	2000	15	Operando
Vinhedo/SP	Prefeitura	2000	15	Operando
Brasília/DF	Caenge	2001	30	Operando
Fortaleza/CE	Usifort	2002	60	Operando
Ribeirão Pires/SP	Prefeitura	2003	15	Desativada
Ciríaco/RS	Prefeitura	2003	15	Desativada
São Gonçalo/RJ	Prefeitura	2004	35	Paralisada
Jundiaí/SP	SMR	2004	20	Operando
Campinas/SP	Prefeitura	2004	70	Operando
São B. do Campo/SP	Urbem	2005	50	Operando
São B. do Campo/SP	Ecoforte	2005	70	Desativada
S. José do Rio Preto/SP	Prefeitura	2005	30	Operando
São Carlos/SP	Prefeitura/Prohab	2005	20	Operando
B.Horizonte BR040)/MG	Prefeitura	2006	40	Operando
Ponta Grossa/PR	P. Grossa Amb.	2006	20	Operando
Taboão da Serra/SP	Estação Ecologia	2006	20	Operando
João Pessoa /PB	Prefeitura/Emlur	2007	25	Operando
Caraguatatuba/SP	JC	2007	15	Operando
Colombo/PR	Soliforte	2007	40	Operando
Limeira/SP	RL Reciclagem	2007	35	Operando
Americana/SP	Cemara	2007	25	Operando
Piracicaba/SP	Autarquia/Semae	2007	20	Operando
Santa Maria/RS	GR2	2007	15	Operando
Osasco/SP	Inst. Nova Agora	2007	25	Instalando
Rio das Ostras/RJ	Prefeitura	2007	20	Instalando
Brasília/DF	CAENGE	2008	30	Operando
Londrina/PR	Kurica Ambiental	2008	40	Operando
São Luís/MA	Limpel	2008	40	Operando
São J. dos Campos/SP	RCC Ambiental	2008	70	Operando
Paulínia/SP	Estre Ambiental	2008	100	Operando
Guarulhos/SP	Henfer	2008	30	Instalando
Barretos/SP	Prefeitura	2008	25	Instalando

S.José dos Campos/SP	Julix - Enterpa	2008	25	Instalando
Petrolina/PE	Prefeitura	2008	25	Instalando
Itaquaquetuba/SP	Entrec Ambiental	2008	40	Instalando

Fonte: Jornal Meio Ambiente da Createc <<http://www.jornalmeioambiente.com/materia/655/residuos-de-construcao-e-demolicao-rcd>>. Acesso em: 10/03/2013

Anexo B

Normatizações para resíduos sólidos

ABNT NBR 15112 - Resíduos da construção civil e resíduos volumosos - Áreas de transbordo e triagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação.

ABNT NBR 15113 - Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes - Aterros - Diretrizes para projeto, implantação e operação.

ABNT NBR 15114 - Resíduos sólidos da Construção civil - Áreas de reciclagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação.

ABNT NBR 15115 - Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos.

ABNT NBR 15116 - Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural.

Anexo C

Folheto técnico Tégula

Tégula®

Soluções para Telhado

Folheto Técnico

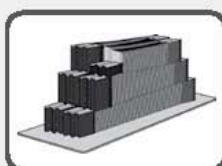
Atenção: Este folheto técnico só tem validade para as Telhas de 10,4 peças/m², essas instruções de montagem não se aplicam para a Telha Big de 7,5 peças/m².



Armazenamento

Prepare um local na obra para armazenar as telhas até a sua utilização. Escolha um lugar plano, nivelado e preparado com uma camada de areia para que as telhas estocadas não sujem em contato com a terra ou o barro.

As telhas devem ser empilhadas de acordo com a foto ao lado, com altura máxima de 3 unidades. A parte superior das telhas (onde existe o pré-furo) deve ficar voltada para baixo.



Montagem do Telhado

Sugestão de Madeiramento

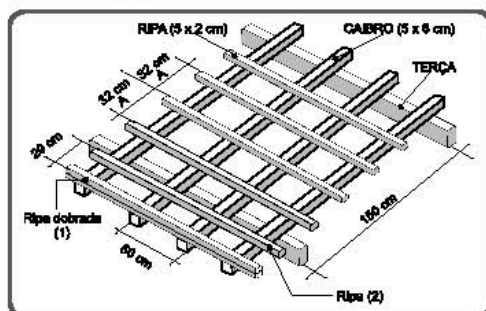
O dimensionamento da estrutura deve ser feito por profissional habilitado (lembre-se de que o peso do metro quadrado das telhas Tégula é inferior ao da maioria das telhas residenciais). Para calcular a inclinação mínima do telhado veja o item "Normas para Projeto", neste folheto.

Refil	Peso seco (kg/m²)	Peso molhado (kg/m²)
Tradição	49,0	54,0
Double S	45,2	50,0
Coppo de Grécia	50,3	56,0
Plana	54,0	60,0

Sugestão para o madeiramento do telhado Tégula – bitolas e espaçamentos:

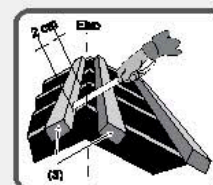
- Ripas (ou sarrafos) — 5 cm x 2 cm, com galga máxima de 32 cm;
- Caibros — 5 cm x 6 cm, com espaçamento de 50 a 60 cm;
- Terças — espaçamento máximo de 1,50 m (sua bitola varia em função do espaçamento das tesouras).

As tesouras, pontaletes e outros elementos estruturais deverão ser dimensionados por profissional habilitado.



Galga Inicial

A primeira ripa ou testeira (1) é sempre 2 cm mais alta que as demais ripas, para que todas as telhas tenham a mesma inclinação. Somente a galga inicial mede 29 cm, da face superior da segunda ripa (2) até a face inferior da testeira (1).

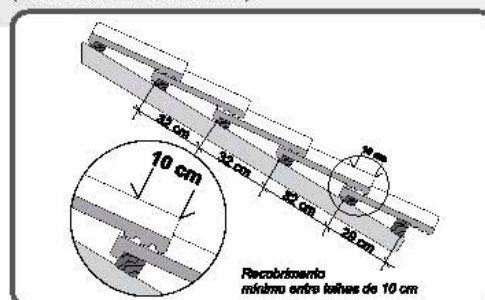


Ripa de Cumeeira

A distância entre a ripa da cumeeira (3) e o eixo deve ser de 2 cm, proporcionando um recobrimento adequado da linha de cumeeira.

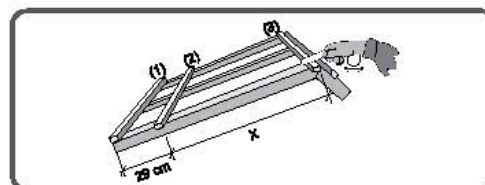
Galga

É a distância máxima entre as faces superiores de 2 sarrafos. Para as telhas Tégula a galga vai até 32 cm (nunca utilize uma distância maior).



Cálculo da Galga Intermediária

Calcule a distância exata da galga para que não seja necessário cortar as telhas na cumeeira ou platibanda — essa é uma vantagem especial das telhas Tégula. Para isso, divida a distância (X) — entre a segunda ripa (2) e a ripa de cumeeira (3) — pela galga máxima de 32 cm (arredonde o resultado para o número inteiro acima do valor obtido). O resultado desta divisão será o número (N) de telhas na faixa entre (2) e (3). Para saber a galga exata, divida a distância entre (2) e (3) por (N). O resultado será uma galga sempre inferior a 32 cm e que evitará o corte de telhas.



Sobreposição

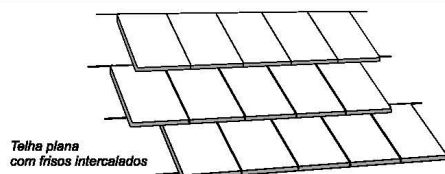
Lateral

A sobreposição lateral é sempre fixa, acompanhando o encaixe normal da telha. Monte o telhado começando do lado direito para o lado esquerdo do pano, e de baixo para cima, com as telhas sempre alinhadas na horizontal e na vertical.

Durante a montagem, a **Telha Plana** deve ter seus frisos intercalados para inclinações entre 50 e 100%. Acima desta inclinação os frisos podem ficar alinhados.



Detalhe do encaixe

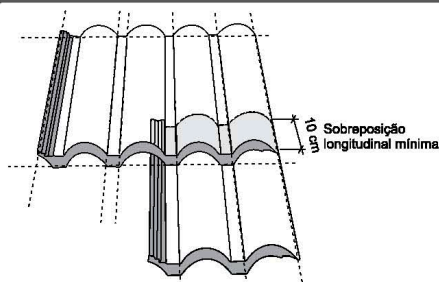


Telha plana com frisos intercalados

Longitudinal

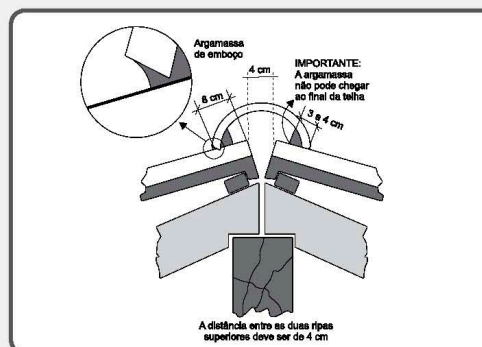
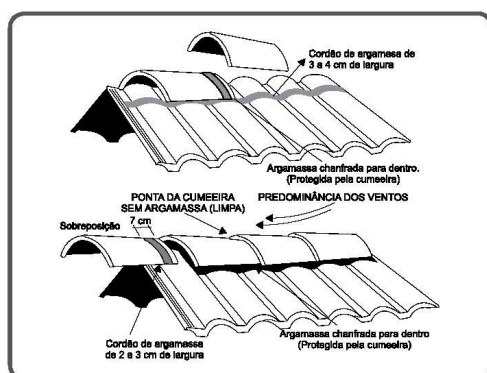
A sobreposição longitudinal (telha sobre telha) é de no mínimo 10 cm, já considerados no cálculo de consumo de 10,4 telhas por m². Pode-se aumentar a sobreposição para evitar cortes de telhas na linha de cumeeiras e platibandas, conforme descrito no cálculo da galga intermediária.

Obs.: Nunca utilize sobreposição menor que 10 cm.



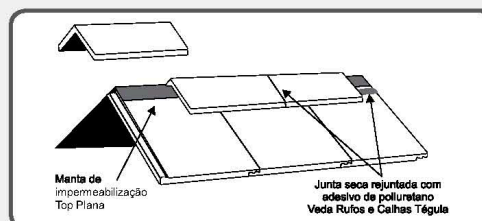
Cumeeiras

A sobreposição das cumeeiras é de 7 cm. No emboçamento é muito importante que a argamassa utilizada fique protegida pela cumeeira. Isso significa que a massa não deve ficar exposta às intempéries. Para melhorar este acabamento você pode adicionar o pigmento para argamassa, disponível nas cores das telhas.



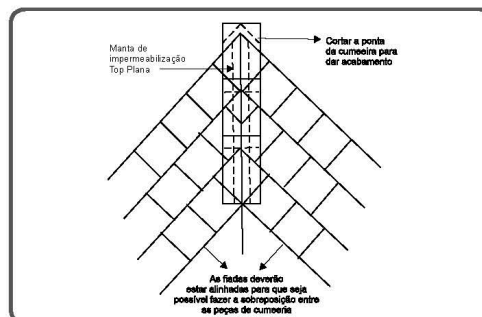
Cumeeira Plana

Não deve ser instalada com sobreposição (uma sobre a outra). O resultado fica melhor se assentada sobre manta de impermeabilização (Top Plana).

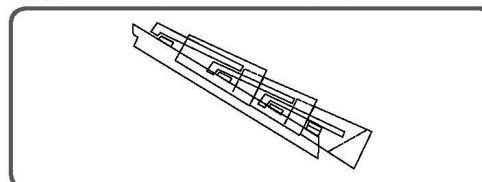


Após aplicação da manta de impermeabilização, as peças de cumeeira poderão ser fixadas com uma pequena quantidade de argamassa, massa plástica ou Veda Rufos e Calhas Tégula.

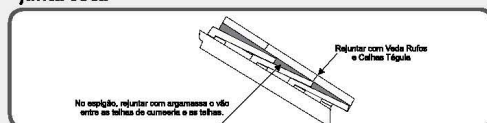
A manta de impermeabilização Top Plana também é necessária para os espigões; porém, a peça de cumeeira poderá ser instalada de topo "junta seca". Neste caso, você precisará rejuntar a superfície de contato entre as peças de cumeeira e as telhas, ou então montá-las com sobreposição. Para esta situação os panos terão que estar modulados com a mesma galga, ou seja, deverão ser simétricos.



Espigão de telha plana com sobreposição



Espigão de telha plana com assentamento de topo "junta seca"



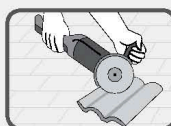
Água Furtada ou Rincão

Cole as telhas recortadas da Água Furtada nas telhas inteiras que estão ao seu lado (use massa plástica ou Veda Rufos e Calhas Tégula). Isso evitará que elas se soltem durante as chuvas.

Corte de Produtos

Para cortar os produtos Tégula você pode utilizar uma máquina de corte com disco para concreto de nove polegadas ou disco diamantado. Faça os cortes no chão, por medida de segurança; assim você também evita a sedimentação do pó proveniente do corte nas telhas já colocadas, o que pode manchá-las.

Limpe as telhas cortadas antes de colocá-las no telhado. É imprescindível o uso de máscara protetora contra pó, óculos de segurança e luvas durante o trabalho de corte de telhas.



Instruções de Saúde e Segurança

Materiais de construção, como telhas, são fabricados com matérias-primas naturais. Estas matérias-primas contêm uma proporção de sílica cristalina. Processos mecânicos, como cortar ou perfurar estes produtos, liberam pó de sílica.

A exposição elevada e prolongada a este pó pode causar doença de pulmão (silicose) e aumentar o risco de câncer de pulmão naqueles que contraíram silicose. As seguintes medidas de controle são necessárias:

- Use máscara tipo P3/PFF3 durante todo o processo de corte e perfuração;
- Utilize dispositivos de extração de pó.



Acabamento Lateral

Telha Terminal Esquerda

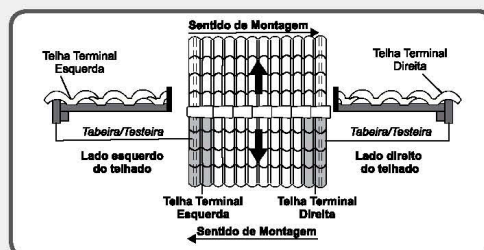
É usada para fazer o acabamento no lado esquerdo do telhado. Não é uma peça obrigatória, porém o seu uso em um telhado de 2 águas obriga o alinhamento dos canais e cristas das telhas nos panos adjacentes dos telhados. Para o uso da opção com a Telha Terminal é interessante observar os múltiplos da telha, pois não tem sentido usar o terminal e cortá-lo.

A largura útil da Telha Terminal Esquerda é 16,5 cm (perfil Double S), 23 cm (perfil Tradição), 24 cm (perfil Coppo de Grécia).

Telha Terminal Direita

Utilizada no acabamento do lado direito de uma cobertura, esta peça está disponível para todos os perfis e é utilizada em conjunto com a Telha Terminal Esquerda.

A largura útil da Telha Terminal Direita é 15,5 cm (perfil Double S), 15,5 cm (perfil Tradição), 18,5 cm (perfil Coppo de Grécia).

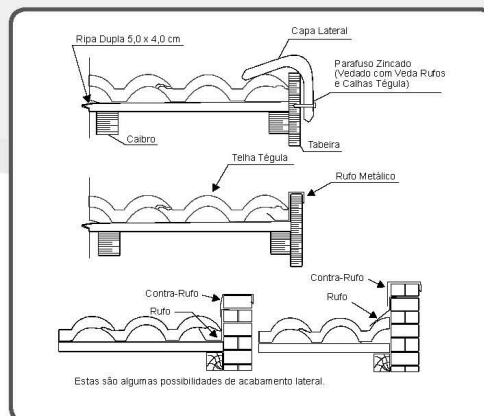


Telha Plana

Para um melhor efeito estético no uso da Telha Plana, observe os múltiplos da telha (30 cm) da fiada, evitando o corte. Caso seja inevitável, corte igualmente nos dois lados do telhado.

Capa Lateral

Utilize para fazer o acabamento de um telhado tanto no lado direito como no esquerdo, colocando-a sobre a telha e a testeira (ou tabeira). Para isso, fure a capa lateral e parafuse-a ou pregue-a à tabeira (rufos também podem ser utilizados).



Normas para Projeto

Importante:

1) A tabela ao lado indica as inclinações mínimas para diversos comprimentos de pano de telhado. Evite sempre o caso de pano desaguando sobre pano. Para isso, utilize calhas de beiral. Considere como comprimento do pano inferior a soma dos comprimentos de todos os panos que desaguarem sobre ele.

A inclinação mínima de cada pano do telhado é de 30% para os perfis Tradição, Double S e Coppo de Grécia e 50% para a telha Plana.

Em regiões de topo de morro, próximas ao mar ou quaisquer regiões sujeitas a ventos, utilize uma inclinação 5% superior à mínima (ou seja, 35% para Tradição, Double S, Coppo de Grécia e 55% para Plana).

2) A inclinação máxima sem necessidade de amarração das telhas é de 96% (perfis Tradição, Double S e Coppo de Grécia) e 130% (Plana). Acima desta medida amarre as telhas com fio de cobre ou arame de aço galvanizado nº 18. Fure com broca de vídea o pré-furo da telha.

Inclinação do telhado

Inclinação %	Pano deság. (m)	Comprimento do pano (m)	Comprimento do pano (m)
50	26	14	
42	22	11	
38	20	10	
36	19	9	
32	17	8	
30	16	7	

0 a 29% taxa de inclinação não recomendada

Inclinação para Telha Plana

Inclinação %	Pano deság. (m)	Comprimento do pano (m)	Inclinação %	Pano deság. (m)	Comprimento do pano (m)
35	19m7	8	58	26m9	8
37	20m7	9	52	27m9	9
39	21m7	10	54	28m9	10
41	22m7	11	57	29m9	11
43	23m7	12	59	30m9	12
45	24m7	13	61	31m9	13
47	25m7	14	64	32m9	14

3) Para panos superiores a 14 m de comprimento, consulte a assistência técnica.

4) Apesar das telhas Tégula resistirem extraordinariamente à ação dos ventos, no caso de regiões montanhosas, próximas ao mar ou quaisquer regiões sujeitas a ventos recomenda-se a fixação das telhas do beiral que não forem protegidas por algum tipo de forro (utilize arame nº 18, parafuso ou prego).

5) Cores: em razão de serem fabricadas com produtos "in natura", as telhas e peças complementares podem sofrer alterações em suas cores devido às variações naturais da coloração dos agregados ou do cimento e devido às influências naturais do tempo, poluição, etc. O aparecimento de eflorescência é um fenômeno normal e temporário, considerado em norma, e isso não muda as demais exigências quanto à qualidade dos produtos.

6) A pintura das telhas ou uso de impermeabilizante aplicado pelo usuário implica em perda de garantia do produto.

7) Manutenção das telhas: A formação de fungos e/ou bolor dá-se devido à atuação de vários agentes externos e pode ocorrer tanto na face superior como na face inferior das telhas; ou seja, as telhas podem ser contaminadas com estes microorganismos durante a armazenagem do produto no canteiro de obras ou mesmo depois de instaladas, através da ação dos ventos e pássaros, podendo levar ao desenvolvimento de fungos e/ou bolor. Outros fatores também podem contribuir para esta proliferação, entre eles a umidade relativa do ar; o índice pluviométrico da região, a geometria da cobertura, a posição da cobertura em relação ao sol e a ventilação da mesma.

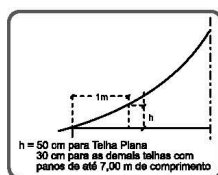
A garantia de 20 anos das telhas Tégula refere-se a defeitos de fabricação como resistência e permeabilidade. Fatores como desgaste e alteração do aspecto visual (sujeira, formação de fungos, etc.) causados pela ação das intempéries ou qualquer outro agente externo, não são cobertos pela garantia do produto, pois são ocorrências perfeitamente normais em qualquer produto exposto à ação do tempo.

As telhas Tégula são suficientemente resistentes mesmo quando molhadas para que se caminhe sobre elas durante a lavagem. Porém, é necessário lembrar que, estando molhadas, as telhas tornam-se escorregadias. Nesse caso, a pessoa que estiver realizando o serviço de limpeza deverá permanecer constantemente amarrada, utilizando os EPIs adequados para esta situação de trabalho.

Para manter as telhas com aparência de limpas por mais tempo, elas podem ser lavadas com um pressurizador de água, sem adição de produtos químicos. Qualquer produto químico (ácido) que venha a ser usado poderá manchar as telhas. Caso seja extremamente necessário o uso de tais produtos, deve-se fazer um teste isolado em uma telha fora do telhado para que o resultado seja avaliado.

Telhados Flexionados

Este tipo de telhado exige um cuidado especial. A inclinação no primeiro metro do telhado deve sempre atender à especificação mínima de cada tipo de telha e do comprimento do pano. A partir do primeiro metro, o aumento de inclinação varia em função do projeto, lembrando que a partir de 96% é necessária a amarração das telhas.

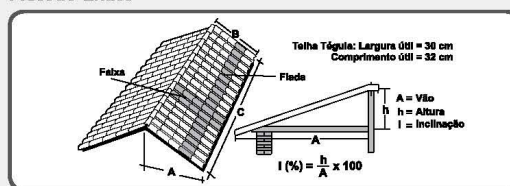


Cálculo das Telhas para Cobertura Método Simples e Prático

- A multiplicação da área plana de uma cobertura (incluindo o beiral) pelo fator de inclinação da Tabela 1 determina a área inclinada a ser coberta.
- Multiplicando a área inclinada por 10,4 telhas por m², encontra-se a quantidade de telhas necessárias.

Obs.: Por ser um método prático, deve-se utilizar um acréscimo de 5% para maior segurança.

Método Exato



Para obter-se o número necessário de telhas para um pano de cobertura é preciso saber:

"A" - Comprimento horizontal do pano

"I" - Inclinação a ser usada

"B" - Comprimento inclinado do pano ou "faixa"

"C" - Largura do pano ou "fiada"

Obs.: Nas medidas "A" e "C" devem ser incluídos os beirais (se existirem).

Tabela 1 - Inclinações mais usadas

Inclinação Mínima Telhas Tradicional, Double S e Copo de Grécia						
	%	Gráus	Fator	%	Gráus	Fator
Nota: As setas ao lado indicam as inclinações mínimas para cada perfil de telha Tégula.	30	16°42'	1,984	51	37°51'	1,122
	31	17°23'	1,947	52	37°58'	1,127
	32	17°54'	1,959	53	37°55'	1,132
	33	18°25'	1,953	54	38°22'	1,136
	34	18°56'	1,954	55	38°49'	1,141
	35	19°27'	1,959	56	38°55'	1,146
	36	19°58'	1,963	57	39°41'	1,151
	37	20°29'	1,966	58	39°56'	1,156
	38	20°40'	1,970	59	39°32'	1,161
	39	21°10'	1,973	60	39°55'	1,166
	40	21°40'	1,977	70	34°59'	1,221
	41	22°11'	1,981	80	34°39'	1,281
	42	22°42'	1,985	90	45°59'	1,345
	43	23°13'	1,989	96	45°50'	1,383
	44	23°45'	1,993	100	45°00'	1,414
	45	24°13'	1,997	110	47°42'	1,486
	46	24°42'	1,101	120	50°11'	1,562
	47	25°10'	1,105	130	52°40'	1,640
	48	25°38'	1,109	140	54°29'	1,720
	49	26°06'	1,114	150	54°10'	1,803
Inclinação Mínima	50	26°34'	1,118	160	57°59'	1,887

Nota: As setas ao lado indicam as inclinações mínimas para cada perfil de telha Tégula.

Cálculo da Faixa

Multiplique a medida "A" pelo fator de inclinação (tabela 1) e obtenha a medida "B". Depois, divida pelo comprimento útil da telha Tégula (32 cm).

Cálculo da Fiada

Divida a medida "C" pela largura útil da telha Tégula (30 cm). Na utilização de telhas terminais, use a tabela 2 para obter o número exato de telhas.

Faixa x Fiada = Quantidade de telhas do pano de cobertura.

Tabela 2 - Quantidade de telhas de uma fiada

(Tome o valor mais aproximado da largura do telhado para saber o número exato de telhas, incluindo as Telhas Terminais).

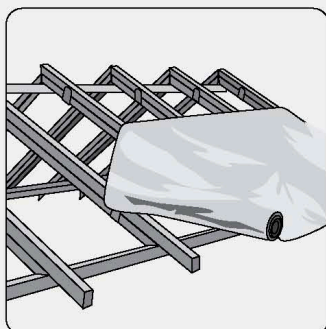
Fiada com telhas terminais esquerda e direita				Fiada com telha terminal esquerda			
Largura do pano (m)	Quantidade de telhas	Largura do pano (m)	Quantidade de telhas	Largura do pano (m)	Quantidade de telhas	Largura do pano (m)	Quantidade de telhas
10	2,79	2,72	3,83	31	9,23	9,17	9,24
11	3,09	3,02	3,13	32	9,39	9,32	9,43
12	3,39	3,32	3,43	33	9,69	9,62	9,75
13	3,69	3,62	3,73	34	9,99	9,92	10,03
14	3,99	3,92	4,03	35	10,29	10,22	10,33
15	4,29	4,22	4,33	36	10,59	10,52	10,63
16	4,59	4,52	4,63	37	10,89	10,82	10,93
17	4,89	4,82	4,93	38	11,19	11,12	11,23
18	5,19	5,12	5,23	39	11,49	11,42	11,53
19	5,49	5,42	5,53	40	11,79	11,72	11,83
20	5,79	5,72	5,83	41	12,09	12,02	12,13
21	6,09	6,02	6,13	42	12,39	12,32	12,43
22	6,39	6,32	6,43	43	12,69	12,62	12,73
23	6,69	6,62	6,73	44	12,99	12,92	13,03
24	6,99	6,92	7,03	45	13,29	13,22	13,33
25	7,29	7,22	7,33	46	13,59	13,52	13,63
26	7,59	7,52	7,63	47	13,89	13,82	13,93
27	7,89	7,82	7,93	48	14,19	14,12	14,23
28	8,19	8,12	8,23	49	14,49	14,42	14,53
29	8,49	8,42	8,53	50	14,79	14,72	14,83
30	8,79	8,72	8,83	51	15,09	15,02	15,13

Cálculo da Cumeeira, do Espigão e da Capa Lateral

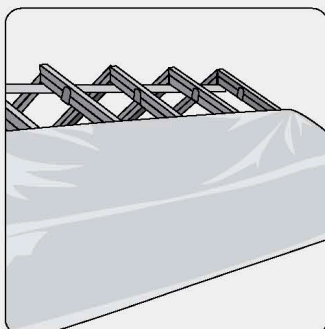
3 peças por metro linear, com sobreposição mínima de 7 cm entre as peças.

Instalação Freshfoil

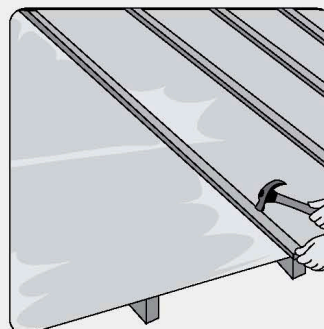
Instruções de montagem passo a passo



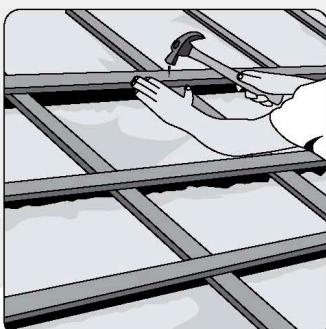
01. Desenrole o Freshfoil sobre os caibros estendendo-o por toda a superfície do telhado.



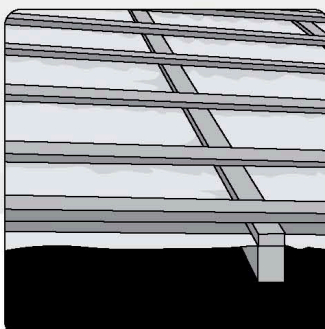
02. Fixe o Freshfoil em todos os caibros do telhado, tomando o cuidado de mantê-lo esticado.



03. Fixe os contra-caibros, cortados com 1,10 cm, sobre os caibros, mantendo o Freshfoil entre eles. Os contra-caibros podem ter a mesma espessura dos sarrafos utilizados no suporte às telhas.



04. Fixe os sarrafos antes de desenrolar o próximo rolo. Assim você poderá apoiar-se nos sarrafos para fixar os rolos na parte superior do telhado.



05. Visão do madeiramento pronto. O contra-caibro evitará que a água se acumule no madeiramento em caso de vazamento. Além disso, permite um fluxo de ar entre o Freshfoil e os sarrafos, auxiliando na expulsão do calor do telhado.



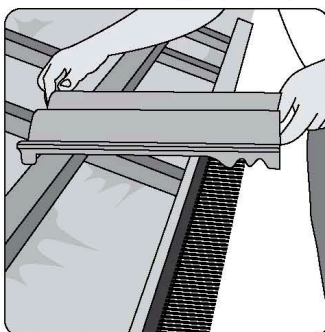
06. Assente as telhas como de costume.

Instalação Passarinheira

Instruções de montagem passo a passo



01. Fixe a Passarinheira nas marcas pré-determinadas utilizando pregos ou grampos. Utilize mais pregos se necessário.



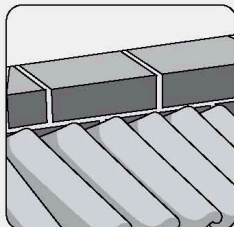
02. Coloque a telha normalmente apoiando o lado inferior da mesma sobre a passarinheira. Os dentes se amoldarão no formato do perfil da telha.

Obs.: A Passarinheira evita a entrada de pássaros de pequeno porte, mas não impede a entrada de roedores ou maritacas.

Instalação Ruflex

Instruções de montagem passo a passo

Instalação em Platibandas



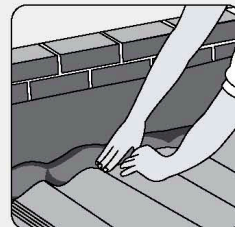
01. Sempre que houver uma platibanda no telhado é necessário fazer o acabamento para evitar a infiltração de água pelas extremidades das telhas.



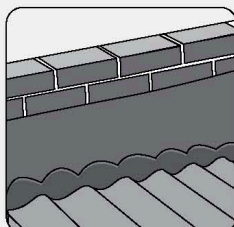
02. Retire a película plástica que protege uma das faixas adesivas, utilizando a linha picotada.



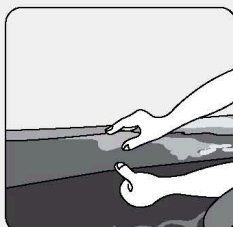
03. Meça o comprimento necessário de Ruflex e corte-o na medida. Cole-o sobre a parede, tomando cuidado para deixá-lo bem alinhado.



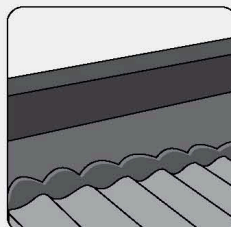
04. Cole o Ruflex nas cristas das telhas e depois molde-o com os dedos, colocando-o de maneira a acompanhar o perfil das telhas.



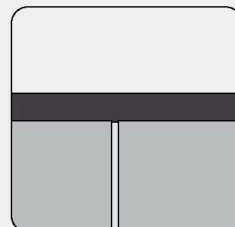
05. O Ruflex molda-se perfeitamente ao perfil dos diferentes tipos de telhas. Aplique o Veda Rufos e Calhas Tégula na extremidade superior do Ruflex para uma melhor vedação (veja ilustração abaixo).



06. Para acabamento superior, cole outro Ruflex sobre o que já foi aplicado, usando uma sobreposição de 2 a 3 cm. Cole a outra extremidade na face de trás da platibanda.



07. Vista frontal da platibanda acabada.

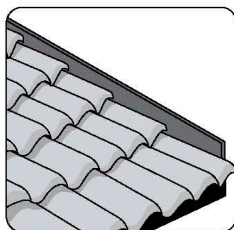


08. Vista posterior da platibanda acabada.



Obs.: Antes de colar o Ruflex, aplique um fundo selador em paredes que estejam soltando partículas.

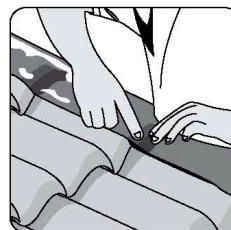
Instalação de Tabeira



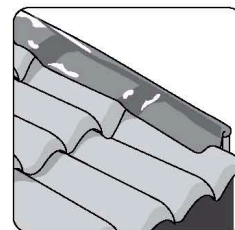
01. Toda vez que o telhado terminar com tabeira é necessário fazer o acabamento para evitar vazamento de água pela lateral das telhas.



02. A partir da extremidade da tabeira, meça o comprimento necessário de Ruflex para fazer o acabamento. Recomenda-se o uso de Ruflex mais estreito (14 cm).



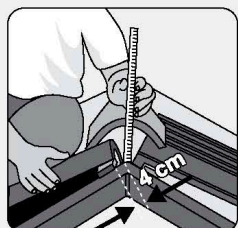
03. Após retirar a película plástica protetora, cole uma extremidade do Ruflex na tabeira alinhando-o bem. Cole a outra extremidade nas cristas das telhas e depois molde-a com os dedos, completando a fixação.



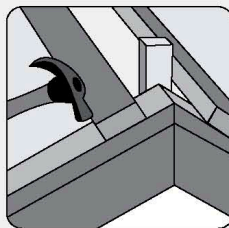
04. Faça o acabamento na extremidade da tabeira dobrando o Ruflex sobre si mesmo. Mesmo sem adesivo ele permitirá uma adesão inicial suficiente. Ao longo de algumas horas a adesão será total. Corte as pontas de forma arredondada para melhor acabamento.

Instalação Topflex

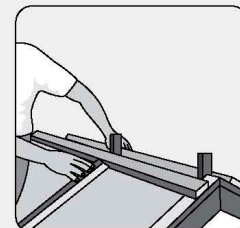
Instruções de montagem passo a passo



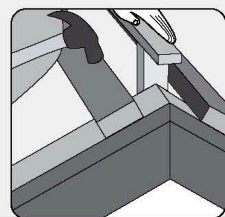
01. Após fixar as ripas superiores a 4 cm do eixo, coloque duas telhas e uma cumeeira e meça a distância entre a ponta dos caibros e a face inferior do lado menor da cumeeira.



02. Posicione a ripa de apoio vertical e fixe-a com um prego. Fixe outra ripa de apoio na outra extremidade da cumeeira.



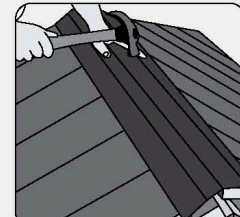
03. Alinhe as ripas de apoio e repita a operação nos outros caibros. Na cumeeira recomenda-se o uso de uma ripa de apoio a cada 50 cm, aproximadamente.



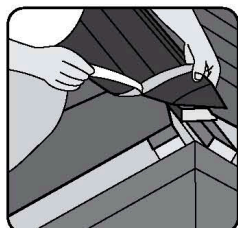
04. Fixe a ripa suplementar; trave sobre as ripas de apoio. Repita a operação de fixação em cada uma das ripas de apoio.



05. Desenrole o Topflex alinhando-o sobre a ripa suplementar. Cubra toda a linha de cumeeira/espigão com o Topflex, conforme mostra a figura.



06. Se necessário, utilize pregos comuns ou grampos para fixar o Topflex na ripa suplementar, evitando que ele desalinhe em caso de ventos fortes. Quando houver necessidade de emenda recomenda-se uma sobreposição de 5 cm.



07. Retire as fitas plásticas que protegem a cola do Topflex para fixá-lo na telha.



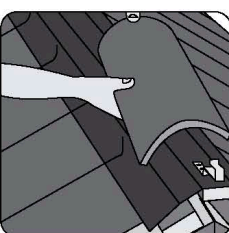
08. Cole o Topflex primeiramente sobre as cristas das telhas, pressionando levemente.



09. Depois das cristas, cole o Topflex nos canais das telhas moldando-o com as mãos e acompanhando o perfil das telhas.



10. Se preferir fixar as telhas de cumeeira com cliques, posicione o primeiro clipe de fixação e fixe-o na ripa suplementar, alinhando-o conforme a figura. Recomenda-se o uso de 2 pregos por clipe. Se não for utilizar os cliques, fixe as telhas de cumeeira com um prego de aço ou parafuso através do pré-furo da telha de cumeeira.

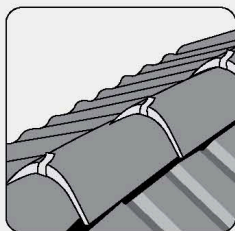


11. Encaixe o lado maior da cumeeira no clipe. O formato do clipe permitirá uma perfeita fixação da cumeeira.



12. Encoste o segundo clipe no lado menor da cumeeira já encaixada, pregando-o da mesma maneira. Repita a operação de encaixe até o final da cumeeira, sempre observando o alinhamento.

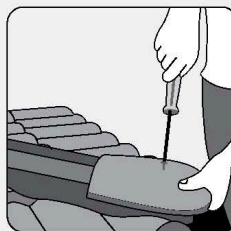
Fixação seca de espigão inicial



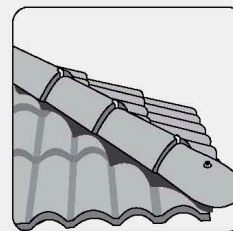
13. Linha de cumeeira com fixação seca pronta.



14. Com o auxílio de uma furadeira, faça um furo sobre o espigão inicial alinhando-o sobre a ripa suplementar.



15. Fixe o espigão inicial com um parafuso. Para uma melhor vedação utilize uma arruela plástica, borracha ou Veda Rufos e Calhas Tégula.

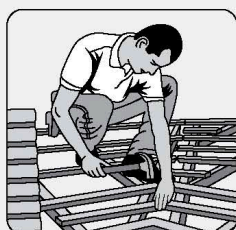


16. Fixe o espigão conforme ilustrado nos passos 14 e 15.

bee creative

Instalação Água Furtada

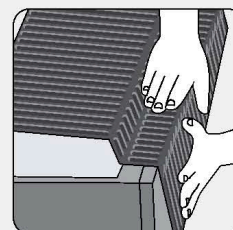
Instruções de montagem passo a passo



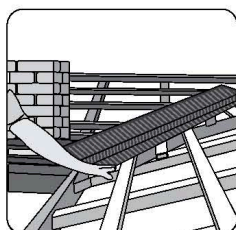
01. Instale um pedaço de ripa de aproximadamente 50 cm entre as ripas existentes na região da Água Furtada.



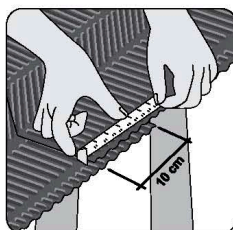
02. Dobre a Água Furtada começando pelo vinco central do quebra água.



03. Dobre os vincos laterais do quebra água.



04. A Água Furtada deve ser instalada de baixo para cima.



05. A sobreposição mínima é de 10 cm entre as chapas.



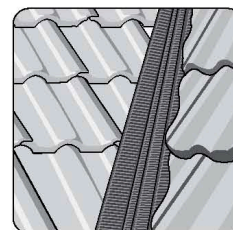
06. Deve ser instalada com pregos ou parafusos.



07. As cabeças dos pregos devem ser vedadas com Veda Rufos e Calhas Tégula.



08. O acabamento pode ser dado com tesoura de chapa.



09. Água Furtada instalada.

02/2011

ATA SESSÃO DE DEFESA FINAL DE DISSERTAÇÃO - Nº: 90

Como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Design**, área de concentração em Design Gráfico e de Produto, em **26 de fevereiro de 2014**, às 14:00 horas, na sala 800 do Edifício Dom Pedro I, da Universidade Federal do Paraná, reuniu-se à banca examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Design, composta pelos examinadores

Prof. Dr. Alexandre Vieira Pelegrini (orientador e presidente da banca - UTFPR)

Prof. Dr. Adriano Heemann (examinador interno - UFPR)

Prof. Dr. Marcelo Gitirana Gomes Ferreira (examinador externo - UDESC)

com a finalidade de julgar a dissertação do(a) candidato(a) **JULIANO HENRIQUE BODÃO** intitulada originalmente **Desenvolvimento Colaborativo de Telhas Fotovoltaicas com RCD**.

O desenvolvimento dos trabalhos seguiu o roteiro de sessão de defesa estabelecido pelo Programa, com abertura, condução e encerramento da sessão de defesa feitos pelo(a) orientador(a) e presidente. Após haver analisado o referido trabalho e arguido o(a) candidato(a), os examinadores da banca deliberaram pela sua

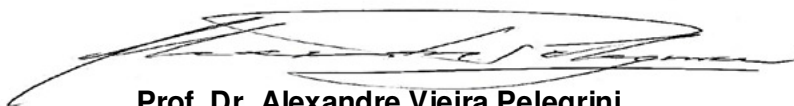
(X) APROVAÇÃO;

() APROVAÇÃO CONDICIONADA A CORREÇÕES SOLICITADAS PELA BANCA, DESTACANDO-SE:

A Banca Examinadora recomenda a publicação do trabalho em periódico com foco no desenvolvimento tecnológico, e o ingresso direto no Doutorado do PPGDesign/UFPR, a critério do Colegiado.

habilitando-o(a) ao título de **Mestre(a) em Design a partir da data de emissão do respectivo diploma** pela Universidade Federal do Paraná, e **desde que o(a) candidato(a) apresente à Coordenação do PPGDesign a versão definitiva da dissertação no prazo de 60 (sessenta) dias corridos a contar da presente data**, conforme estabelecido pelo Regimento interno do Programa.

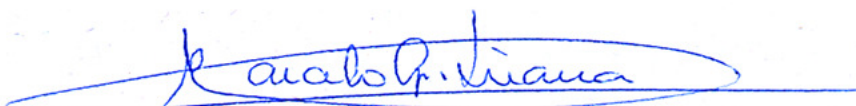
Curitiba, 26 de fevereiro de 2014.



Prof. Dr. Alexandre Vieira Pelegrini
(orientador e presidente da banca - UTFPR)



Prof. Dr. Adriano Heemann
(examinador interno - UFPR)



Prof. Dr. Marcelo Gitirana Gomes Ferreira
(examinador externo - UDESC)